

تأليف: ي. رادونسكايا
 و م. جابوتنسكي
 ترجمة: المهندس حسين أحمد عيسى



0145996



الإلهم ونيل الحياة الحديثة

الإلكترونيات والحياة الحديثة

تأليف

ى . رادونسكيا م : جابوتنسكى

ترجمة

حسين أحمد عيسى



الهيئة العامة للكتاب

١٩٨٦

الاخراج الفنى : ماجدة البنا

مقدمة

يعتبر اللاسلكى ، من أحدث ميادين العلم ، ومع ذلك لم يتطور ذلك لعالم فى تلك المدة القصير التى انقضت منذ اكتشاف العالم الروسى الكسندر ستيفيانوفتش بوبوف اللاسلكى حتى الآن فحسب بل أصبح أحد الميادين الكبرى للعلم والهندسة وأصبح كذلك الأصل الذى تفرعت منه تلك الفروع الهامة مثل التحليل الطيفى اللاسلكى والجيوديسيا (المساحة التطبيقية) اللاسلكية والميتيورولوجيا (علم الظواهر الجوية) اللاسلكية والفلك اللاسلكى وكذلك الكثير من الميادين الهندسية مثل تحديد المواقع باللاسلكى (الرادار) والملاحة اللاسلكية والقياسات اللاسلكية والتحكم عن بعد ، وكذلك تقنيات الآلات الحاسبة الالكترونية .

وبالطبع حدث الكثير من التغيرات فى إمكانيات الاتصال اللاسلكى فى نفس تلك الفترة . فالיום يضمن اللاسلكى اتصالا يعتمد عليه بين أى عدد من النقاط على سطح الأرض ، ونحن لا نجهل الآن ما يثير الدهشة فى أن عمال اللاسلكى فى المحطات الروسية العلنية السابحة مع التيارات البحرية فى منطقة القطب الشمالى يتصلون بعمال اللاسلكى فى البعثة الموجودة بالقطب الجنوبى عند ميرنى . ويمكن لأجهزة التلغراف الحديثة أن ترسل تصوصا بسرعات تقصلى إلى عدة مئات من الكلمات فى الدقيقة . وقد انتشر استخدام التلغراف اللاسلكى الآلى الكتاب وكذلك التلغراف المصور اللاسلكى الذى يمكن بواسطته نقل الصور الفوتوغرافية والرسوم الميكانيكية والصور الثابتة الأخرى إلى مسافات بعيدة .

وقد أدت الاتصالات اللاسلكية - أى استخدام الموجات اللاسلكية

فى نقل المعلومات بين محطتين لاسلكيتين أو أكثر - الى اذاعة الكلام ثم الموسيقى ، واليوم يعتبر نقل الصور المتحركة - التليفزيون - ارقى أنواع الارسال اللاسلكى تطورا كما أنه يتحول شيئا فشيئا الى شىء هام فى الحياة اليومية للناس فى كافة أرجاء الدنيا ، ولم تمكن خطوط المتابعة اللاسلكية من نقل برامج التليفزيون الى مسافات بعيدة فحسب بل وفى نفس الوقت أيضا المئات من المحادثات التليفونية .

واليوم تغزو تقنيات الهندسة اللاسلكية الفرع تلو الآخر من فروع الصناعة ، وفى كثير من الأحيان تكون فاتحة ثورة هندسية فعلية ، وعلى سبيل المثال نذكر تقسية الصلب بالتيارات الكهربائية ذات التردد العالى ومعالجة المعادن بالتيارات الكهربائية ذات التردد العالى واستخدام الأجهزة الالكترونية فى مراقبة جودة المنتجات فى المصانع ، والتحكم الآلى فى الانتاج واستخدام التيارات الكهربائية عالية التردد فى صناعات البلاستيك والكاوتشوك وتجفيف الخزف والطباق وحفظ المأكولات .

ويسمى هذا الميدان الواسع من العلم والهندسة - الذى لم يذكر منه سوى جزء صغير فيما تقدم - عادة بالالكترونيات .

ومن الطبيعى جدا أن يتطلب بناء الهيكل الضخم للالكترونيات الحديثة المجهودات المستمرة من الكثير من العلماء والمهندسين . فقد بنى مخترع الراديو الكسندر بويوف أعماله على أساس ما توصل اليه من سبقوه وبالفات على أعمال العسالم الطبيعى الانجليزى « كلارك ماكسويل » الذى قدم نظرية المغناطيسية الكهربائية والعالم الطبيعى الألمانى « هرتز » الذى ولد الموجات المغناطيسية الكهربائية . كما قام المهندسون والعلماء أمثال الايطالى « جوليلمو ماركونى » واليوجوسلافى « نيكولا تسلا » والألمانى « كارل براون » والعلماء الروس ل . سى ماندلستام ون . د . بابالكسى وم . ف شوليكن وكثيرون غيرهم بأبحاث فى نفس الاتجاهات التى سار فيها بويوف وزملاؤه . وقد كان التطور السريع للالكترونيات نتيجة للتعاون والمنافسة بين العلماء فى كثير من البلاد .

وقد تميز تقدم العلوم الالكترونية ، كما هو الحال فى معظم فروع العلم والهندسة الباقية ، بمراحل تتراوح بين التقدم البطيء والصعود السريع . وقد كان من أهم الحوادث التاريخية فى تاريخ الالكترونيات اختراع كل من لى دى فورست فى الولايات المتحدة وروبرت غون ليبن فى ألمانيا للصمام الثلاثى فى وقت واحد تقريبا وكان ذلك عام ١٩٠٦ .

وقد شق ~~المصام~~ ~~الالكترونى~~ - الذى استخدم أولا فى أجهزة الاستقبال ~~اللاسلكية~~ - طريقه تدريجيا فى أجهزة الإرسال اللاسلكية قاضيا بذلك تماما على دوائر الشرارة والقوس الكهربائى التى كانت مستخدمة قبل ذلك فى توليد الموجات اللاسلكية .

ومن الطريف حقا أن نلاحظ أن التجارب الأولى لبوبوف وكذلك تلك التى قام بها هرتز كانت على موجات مغناطيسية كهربائية ذات أطوال تبلغ عدة ديسيمترات . وبعد ذلك قادت الرغبة فى زيادة مدى الاتصالات اللاسلكية والعول عليها إلى استخدام موجات أطول وصلت إلى عدة كيلو مترات ، ومع ذلك اكتشف هواة اللاسلكى فى أوائل العشرينات أنه يمكن استخدام الموجات التى تصل إلى عدة عشرات من الأمتار طولاً فى الإرسال إلى مسافات عظيمة - ونتيجة لهذا انتشر بالتدريج استخدام الموجات الأقصر طولاً . والآن تستخدم الموجات السنتمترية والمليمتريية فى الرادار والاتصالات والأبحاث العلمية . وجدير بالذكر أيضا أنه بالرغم من أن العالم الروسى المعروف بـ " ن . ليبيديف " كان قد توصل إلى توليد الموجات المغناطيسية الكهربائية المليمتريية فى نهاية القرن الماضى ، كما تمكنت " أ . جلاجوليفا " - أركاديفنا من الحصول على موجات أقصر فى ١٩٢٣ ثم بوساطتها ربط نطاق الموجات اللاسلكية بنطاق الموجات تحت الحمراء (الحرارية) ، فإنه لم يمكن استخدام الموجات السنتمترية والمليمتريية استخداما عمليا إلا بعد التوصل إلى صنع أنواع خاصة من الصمامات الالكترونية .

وقبل ثورة أكتوبر ، كانت ظروف البحث العلمى فى ميدان اللاسلكى فى روسيا سيئة للغاية ، فحتى الكسندر بوبوف مخترع الراديو والعدد القليل من المساعدين الذين كانوا يعملون معه لم تكن لديهم التسهيلات اللازمة للقيام بعملهم ، ونتيجة لهذا لم يزود الأسطول الروسى بالمعدات اللاسلكية اللازمة أثناء الحرب الروسية اليابانية .

وبالرغم من هذه الظروف غير المواتية ، ظهر فى روسيا عدد لا بأس به من المتخصصين البارعين الذين ساروا فى طريق بوبوف وارتقوا بأعماله . وكان ضمن هؤلاء بونش - برويفتش وفولوجدين ولييدنسكى وماندلستام وبابالكسى وبتروفسكى وفرايمان وتسيكلنسى وشوليكن . وفى بداية الحرب العالمية الأولى ، أسس مركز للأبحاث والإنتاج فى روسيا . وقد عمل هذا المركز - أساسا - لامتداد البحرية بالمعدات اللاسلكية . وفى أثناء الحرب نظم م . أ بوش - برويفتش إنتاج صمامات الراديو ، وفى نفس الوقت كانت هنالك صناعة للصمامات

الالكترونية يشرف عليها ن . د . يايايكسي الذي كان اول من استخدم
التسخين بالتردد العالي لافراغ الصمامات من الغازات ، ثم بعد ذلك
بين ن . د . بابالكس امكان استخدام التيارات ذات التردد العالي في
اذابة المعادن في الفراغ .

ومع ذلك لم تبدأ الهندسة اللاسلكية في الازدهار بالفعل الا بعد
الثورة .

فمنذ الأيام الأولى لثورة أكتوبر ، وجه الحزب الشيوعي الكثير
من الاهتمام لتطوير اللاسلكي واستخدامه . وقد أذيعت المراسيم الأولى
للحكومة السوفيتية على العالم بأسره بالتلغراف اللاسلكي .

وقد وضع ف . ا . ليفين أهمية كبرى على دور الراديو في تعليم
الجمهير . ففي ٢١ يوليو سنة ١٩١٨ ، وقع مرسوما « حول مركزية
الهندسة اللاسلكية » الذي خول لمجلس - تشرف عليه قوميسرية
المواصلات البريدية والتلغرافية الشعبية - سلطة وضع خطة لبناء
وتشغيل شبكة من المحطات اللاسلكية الدائمة والإشراف على تنفيذها .
وفي ١٢ ديسمبر عام ١٩١٨ ، وقع ف . ا . لينين مرسوما بتأسيس معمل
للكبريت في نيزني نوفجورود وكان ضمن العلماء البارزين المكلفين بالعمل
فيه م . ا . بونش - برويقتش وف . ب . فولوجدين وف . ك .
ليبينسكي ود . ا . روجانسكي و ا . ف . شورين وآخرون . وقد
قام معمل نيزني نوفجورود بنور هام في تطوير هندسة اللاسلكي وذلك
بما قام به في ميدان الصمامات الالكترونية والاذاعة والاتصالات بعيدة
المدى .

وقد رأى ف . ا . لينين بوضوح الامكانيات الجبارة لهذا
الوسط الجديد - الاذاعة - ولهذا عضد معمل نيزني نوفجورود
للالكترونيات تعضيدا كبيرا .

وعندما تم تصنيع أول جهاز ارسال للتليفون اللاسلكي في سنة
١٩٢٠ ، كتب لينين لبونش - برويقتش :

« ... أنتهز هذه الفرصة لأعبر لكم عن عميق امتناني لعملكم الهام
في الاختراعات اللاسلكية . ولا شك أن المستقبل زاهر أمام هذه الصحيفة
التي بدون ورق ولا تحدها مسافات والتي تقومون بتطويرها وأعدكم
بتأييدي الكامل لها وللأعمال المشابهة » .

وبعد ذلك كرر لينين تأكيده بأن « هذا العمل على جانب كبير من الأهمية لنا حيث ان نجاحه سيؤدي الى فائدة كبرى في ميدان تعليم الجماهير » .

وبتعليمات من لينين ، صمم معمل نيزنى فوقجورود اول محطة ارسال اذاعية لاسلكية قوية فى العالم وسماها كومينترن وقام بتشغيلها عام ١٩٢٢ فى موسكو . وكانت قدرة هذه المحطة اثني عشر كيلو وات . وقد تحقق حلم لينين عن الصحيفة التى « بلا ورق ولا تحنما مسافات » منذ زمن طويل فى الاتحاد السوفيتى . فقد أصبحت موسكو اكبر مركز للاذاعة السوفيتية . وتحمل محطات الارسال اللاسلكية القوية صوت بلاد السوفيت المحب للسلام الى كافة اركان المعمورة وتسمعه كل البلاد . كذلك تلعب الاذاعة السوفيتية دورا هاما فى الصراع من أجل السلم . وتساعده البيانات الصحفية المناعة من المحطات السوفيتية على تقريب الشعوب من بعضها البعض وزيادة تفهمهم بعضهم لبعض ، كما تساعد على التقارب بين قوى السلام .

وتذيع محطات موسكو بانتظام برامج من مدن كبرى أخرى وكذلك من أماكن المنشآت المختلفة ومن المزارع الجماعية ومزارع الدولة ، وكذلك تعيد اذاعة بعض البرامج الخاصة من بكين وعواصم البلاد الديموقراطية الشعبية فى أوروبا على المستمعين السوفيت .

حقا ان القيمة الثقافية والتعليمية للاذاعة عالية لدرجة كبيرة ، فان الحفلات الموسيقية المذاعة وكذلك الاذاعات من دور الأوبرا والمسارح والأحاديث والمحاضرات المختلفة تجتذب الملايين من المستمعين ، ولئن ينقضى وقت طويل حتى يتمكن الملايين من الناس فى كافة أرجاء البلاد من الاستماع الى البرامج المذاعة من موسكو ولينينجراد وكيف وباقي مدن الاتحاد السوفيتى بل ويرونها أيضا .

وبالطبع لم تتحقق المنجزات العظيمة للهندسة اللاسلكية السوفيتية، الا كنتيجة للتقدم العلمى والهندسى العام للبلاد . فقد خلق كل برنامج من برامج السنوات الخمس الاقتصادية فرصا للعمل فى ميدان الاتصالات اللاسلكية والاذاعة والصناعة وكذلك للأبحاث المتزايدة فى هذه المجالات .

وقد أشار الرفيق ن . س . خروشوف فى تقريره الذى ألقاه فى الاجتماع الواحد والعشرين للحزب الشيوعى السوفيتى الى تطوير الوسائل الآلية فى الصناعة والاقتصاد القومى ، وقد وجه عناية خاصة

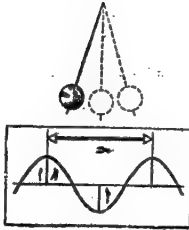
اللاسلكي والالكترونيات وبخاصة الآلات الحاسبة الالكترونية ، كذلك أعدت العدة لتطورات أكبر في ميدان الاتصالات اللاسلكية والأذاعة . فقد تقرر زيادة عدد الاجهزة اللاسلكية الى ٣٠ مليوناً في عام ١٩٦٥ منها ١٢ مليون جهازاً تليفزيون ، كما تقرر بناء حوالى ١٠٠ مركز تليفزيونى آخر ، وستربط خطوط المتابعة اللاسلكية موسكو بأبعد المدن وهي قلايدفوسستوك في الشرق وكيشينيف وأوزجورون في الجنوب الغربى . وستصل برامج التليفزيون المذاعة من استديوهات موسكو عن طريق هذه الخطوط الى كافة المدن في وسط البلاد كما سيتمكن هذه الخطوط في المستقبل من تبادل البرامج مع تشيكوسلوفاكيا والمجر وجمهورية الصين الشعبية .

ومما لا شك فيه أن التطور المستمر للصناعات اللاسلكية والأبحاث في ميادين الالكترونيات سيضمن الاستغلال السريع المنتشر للالكترونيات في الاتحاد السوفيتى .

وسيقصر هذا الكتاب على شرح أحدث فروع الالكترونيات والتي لا يعرف عنها الكثير . ولتجنب تكرار الايضاح ، ستعالج الفيزيائيات الأساسية في هذه المقدمة .

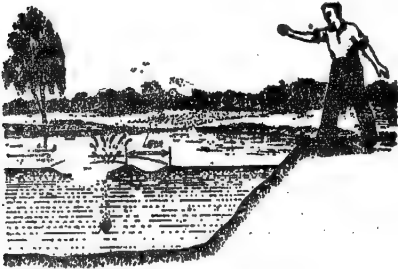
الذبذبات والموجات

تشبه الموجات اللاسلكية الأمواج على سطح الماء في أنها عملية دورية . وهناك كثير من الظواهر الطبيعية التي تحتوى على عمليات دورية . وتختلف العمليات الدورية عن باقى العمليات في أن الجسم المتحرك حركة دورية يعود الى وضعه الابتدائى بعد وقت محدد يسمى مدة الدورة ثم يبدأ دورة جديدة من حركته ، وعلى هذا يكون تكرار النهار والليل وتعاقب الفصول عمليتين دوريتين . وتعتبر الحركة التذبذبية نوعاً من أنواع العمليات الدورية . وأشهر العمليات الدورية التذبذبية هى تمايل البندول (شكل ١) فالبندول التمايل ينحرف الى كلا جانبيه وضع التوازن المرة تلو المرة . ويسمى تمايل البندول ، أى المسافة من وضع التوازن الى أقصى وضع انحراف له ، باتساع ذبذبة البندول ، أما بالنسبة للموجات على سطح الماء فإن الاتساع هو نصف المسافة الرأسية من قمة الموجة الى قعرها .



(شكل ١) ذبذبة البندول والتمثيل البياني للحركة الموجية
 ١ - الاتساع ج - طول الموجة

وتستغرق كل ذبذبة من ذبذبات البندول وقتاً محدداً يسمى فترة الذبذبة . وفترة الذبذبة في العمليات الموجية هي الزمن الذي ينقضي بين مرور نقطة معينة بقمتين متجاورتين للموجة (شكل ٢) . وفي هذا الزمن تتحرك الموجة إلى الأمام مسافة تساوي طولها بالضبط ، وعلى هذا يمكننا أن نعرف طول الموجة بأنه المسافة بين قمتي موجتين متجاورتين .



(شكل ٢) الموجات على سطح الماء
 ج - طول الموجة

وتساعد دراسة هذه العمليات الدورية البسيطة على فهم المقصود بكلمة التردد . فتردد البنود المتمايل هو عدد الذبذبات الكاملة التي يتمها في ثانية واحدة .

وبما أن الزمن المطلوب لإكمال ذبذبة كاملة (تسمى عادة بالدورة أو السايكل) يساوي فترة الذبذبة ، فإن التردد هو عدد فترات الذبذبات في الثانية .

والحال الثاني من أمثلة العمليات التذبذبية هو تذبذب وتر الكمان أو الجيتار . إذ - كقاعدة - ينحرف الوتر بأكمله وفي وقت واحد إلى أحد جانبيه وضع التوازن ، ثم يعود إليه ثم ينحرف ثانية ولكن في الاتجاه المضاد هذه المرة ، ويظل طرفا الوتر المثبتان ساكنين ولا يتسخلان في هذه الحركة ، بينما تتحرك النقطة الوسطى للوتر بأكبر اتساع . وتستغرق كل نقطة على الوتر نفس الزمن لتكمل دورة كاملة . وهذا يعني أن كافة نقط الوتر تتذبذب بنفس التردد . ويتوقف تردد تذبذب الوتر على كتلته وشده : فكلما غلظ الوتر وزاد ارتخاؤه انخفض تردده وغلظت النغمة الصادرة عنه .

والصوت عملية تذبذبية أيضا ، إذ يضغط الوتر المتذبذب دوريا على جزيئات الهواء المحيط به ، وينتقل هذا التضاضط من جزء إلى آخر على شكل موجات صوتية تمتد في جميع الاتجاهات .

ومن الحقائق المعروفة عن الصوت أن الصوت في الهواء لا تتوقف على شدته ولا طبقته ، أي أن الأصوات العالية لا تسبق الأصوات الضعيفة والأصوات الحادة لا تسبق الأصوات الغليظة ولا تتأخر عنها ، ومن هذا نرى أن طول الموجة الصوتية مرتبط بطبقته ، أي بفترة ذبذبة الصوت ، إذ أن الصوت ينتقل في عمدة الذبذبة الواحدة مسافة تساوي طول موجته ، وهذه العلاقة تربط طول الموجة وفترة الذبذبة وسرعة امتداد الأنواع الأخرى من الموجات بما فيها الموجات اللاسلكية ، فكلما زادت فترة الذبذبة طالت الموجة وذلك بالنسبة لسرعة امتداد معينة .

وهنا قد يتعرض البعض على ما قلناه بما يلي :

إذا اقترب أجدهم من فرقة آلات نحاسية يسمع أولا صوت الطبول والآلات غليظة الصوت ، ألا يعني هذا أن الموجات الأطول - وهي التي تناظر النغمات ذات الطبقة المنخفضة - تسبق الموجات الأقصر وهي التي تناظر النغمات عالية الطبقة . مثل هذه الفكرة خاطئة ، فإن تفسير

هذه الظاهرة ليس أن النغمات منخفضة الطبقة تسبق تلك عالية الطبقة ، بل أن الطبقات المنخفضة (الموجات الطويلة) لا تتضاءل بالمرور في الهواء كما تفعل تلك العالية (الموجات القصيرة) ، كما أنها أقدر على التغلب على العقبات المختلفة التي قد تصادفها في طريقها . لهذا يمكن سماعها على مسافة أبعد من تلك التي يمكن سماع الأصوات عالية الطبقة التي تمتص وتتبدد في الهواء بدرجة أكبر . وبما أنه يمكن سماع الأصوات ذات الطبقة المنخفضة على مسافات أبعد ، تكون هذه الأصوات أول ما يسمع عند اقتراب المرء من فرقة آلات نحاسية .

ومع ذلك فهناك حالات تتوقف فيها سرعة الامتداد على طول الموجة، فمثلا تنتشر الموجات الكبيرة على سطح الماء أسرع مما تفعل الصغيرة . وتتحرك موجات المد العظيمة الناتجة عن الزلازل التي تحدث في قاع البحر بسرعة ملحوظة . وعندما تصطدم هذه الموجات بالشاطئ تسبب غالبا أضرارا جسيمة .

ولا تتوقف سرعة الضوء على طول موجته (أي لونه) عندما يتحرك في الفراغ فقط ، أما إذا تحرك الضوء في وسط ما مثل الزجاج أو الماء أو البلورات الشفافة ، فإن سرعة موجات الضوء الأطول (الضوء الأحمر) تكون أكبر قليلا من سرعة الموجات الأقصر (الضوء البنفسجي) . وهذا يفسر ظهور قوس قزح . وتحليل الضوء الأبيض إلى طيف - كقاعدة - يمكن ملاحظته أحيانا عندما يمر الضوء في أطراف جسم شفاف . ويسمى اعتماد سرعة الامتداد على طول الموجة بتشتت الضوء .

ويلاحظ التشتت أيضا عند امتداد الموجات اللاسلكية في جو الأرض . وكذلك تلعب هذه الخاصية دورا هاما في نقل الموجات اللاسلكية في الأنابيب المعدنية المسماة بدلائل الموجات والتي تستخدم في المعدات العاملة على الموجات السنتيمترية .

وعندما يصطدم الصوت بحائل ، تضغط موجاته عليه ضغطا دوريا، ولكننا عادة لا نستطيع أن نحس بهذا الضغط أو نكتشف تأثيره على الأشياء المحيطة بنا لأن الضغط الناتج عن موجات الصوت صغير جدا ، ولكن نستطيع أذنانا فقط الاحساس به .

ومع ذلك فليس الاستماع هو الوسيلة الوحيدة التي يمكننا بواسطتها الاحساس بالصوت ، بل يمكن لوتر مشدود أن يحس بموجات الصوت الناتجة عن وتر آخر ، فزيادة شد الوتر الأول تدريجيا يمكن أن نجعله يهتز بتأثير الثاني ، وفي هذه الحالة يتطابق الصوتان الصادران

من الوترين ، ويقال أن الوترين موالفان على تردد الرنين ، وهنا تصبح أصغر قوة كافية لان تجعل الوتر يهتز باتساع ملحوظ . ولكن اذا زيد شد الوتر أو أنقص ، قل اتساع الاهتزاز كثيرا . فاذا رسمنا منحنى بيانيا يمثل تغير اتساع ذبذبة الوتر مع الموالفة نحصل على منحنى له قمة حادة عند الرنين . يسمى هذا المنحنى الرنين .

ويتوقف ضيق منحنى الرنين على جودة الوتر . واذا بدأ وتران في الاهتزاز معا بنفس الاتساع ، يصدر الوتر ذو منحنى الرنين الأضيق صوتا لمدة أطول .

وهذا يعنى أن ذبذبة هذا الوتر تتضائل بدرجة اقل من تلك الصادرة عن الآخر . وتتوقف قيمة المضائلة على السرعة التي تشع بها الطاقة المختزنة في الوتر (أو أى نظام متذبذب آخر) في الفضاء وتفقد بالاحتكاك .

وليس الرنين من خصائص الأوتار فقط بل انه من خصائص أى نظام متذبذب . وفي بعض الأحيان يمكن استخدام الرنين استخداما نافعا ، بينما يمكن أن يكون ضارا في أحيان أخرى ويجب إزالته ، وقد أصبح معروفا الآن أن الكبارى تنهار وأجنحة الطائرات تتحطم اذا حدثت فيها ذبذبات رنينية ، بينما يستخلم الرنين في الهندسة اللاسلكية في جميع أجهزة الاستقبال لفصل اشارات المحطات اللاسلكية المطلوبة عن اشارات باقى المحطات ، وكذلك في أغراض أخرى .

ولندرس الآن إحدى السمات الهامة للحركة التذبذبية .

يخزن البندول أو الوتر عندما يكون في أحد وضعيه الأتقيين كمية معينة من الطاقة ، وتتوقف الكمية الفعلية لهذه الطاقة المختزنة على وضع البندول أو الوتر . وتسمى الطاقة التي تعتمد على وضع الجسم بطاقة الوضع .

فاذا ما أطلق البندول يبدأ في الحركة بفعل الجاذبية الأرضية أولا وكنتيجة للقوى الرجوعية ثانيا ، وتتزايد سرعة الحركة باستمرار حتى تصل الى نهايتها العظمى وذلك عندما يمر البندول أو الوتر بنقطة التوازن ، ففي هذه النقطة تكون طاقة الوضع التي كانت مختزنة في الجسم في البداية قد نفذت بأكملها .

ولكن الطاقة لا تختفى بذلك ، فان الجسم يكتسب طاقة حركة بتزايد سرعته ، وتزيد هذه الطاقة — كما هو معروف — بزيادة كتلة

الجسم وسرعته • وعند نقطة التوازن ، تصل سرعة البندول أو الوتر الى أقصاها كما ذكر من قبل ، وبالتالي تصل طاقة حركته أيضا الى نهايتها العظمى عند هذه النقطة • وبهذا تتحول طاقة وضع الجسم المتذبذب - باقترابه من وضع التوازن - الى طاقة حركة •

ولكن لا يستطيع الجسم المتحرك أن يظل في وضع التوازن • اذ يحمله القصور الذاتي بعيدا عن هذا الوضع ، ويتحرك البندول الى الأمام يرتفع الى أعلى ، أى تتحول طاقة حركته الى طاقة وضع نتيجة للجاذبية الأرضية • وفي حالة الوتر المتذبذب ، تتحول طاقة الحركة الى طاقة وضع نتيجة للشد •

وعندما تستهلك طاقة الحركة بأكملها ، يصل الجسم الى حالة السكون في وضعه الأقصى الثاني ، فإذا لم يكن هناك احتكاك أو أى فقد آخر للطاقة ، يصل الجسم الى نفس طاقة الوضع الأول التي كانت له في بداية حركته ، أما اذا كان هناك فقد للطاقة فإن تارجح (اتساع) الذبذبات يقل تدريجيا حتى تقف الذبذبة نهائيا • وكلما كان فقد الطاقة أكبر خمدت الذبذبات أسرع •

وبهذا نرى أن الحركة المتذبذبة الميكانيكية تتضمن تحويلا مستمرا للطاقة من طاقة وضع الى طاقة حركة وبالعكس •

ويختلف تردد العمليات المتذبذبة اختلافا بينا ، فمثلا يتذبذب بندول ساعة الحائط المعتادة مرتين في الثانية ، وهذا يعنى أن كل ذبذبة تستغرق نصف الثانية ، وبعبارة أخرى يكمل البندول دورتين كاملتين في الثانية ، أو يتذبذب بتردد قدره ذبذبتان (دورتان) في الثانية •

وتتذبذب الأوتار بترددات أعلى، ويمكن للإنسان أن يسمع الأصوات التي لا يقل ترددها عن ١٦ دورة في الثانية ولا يزيد على ١٥٠٠٠ الى ٢٠٠٠٠ دورة في الثانية ، أما الترددات المستخدمة في الهندسة الاسلكية فأعلى من ذلك بكثير • وتقاس الترددات التي تعمل عليها المحطات الاسلكية عادة بالآلاف الدورات في الثانية - أو الكيلو دورة في الثانية (كبرو سايكل) - وبالمليون دورة في الثانية أو الميجاسيكل في الثانية •

الذبذبات الكهربائية

ساعدتنا دراسة الذبذبات الميكانيكية على فهم السمات الرئيسية للعمليات التذبذبية ، وسنتناول الآن الذبذبات المغناطيسية الكهربائية .
وهي أساس الهندسة اللاسلكية .

وتختلف الذبذبات المغناطيسية الكهربائية عن زميلتها الميكانيكية في أنها تتضمن تغييرا في وضع أى جسم في الفراغ ، ولا تساعدنا أى من حواسنا الخمس على الاحساس بها احساسا مباشرا ، فليس لنا حاسة كهربائية ، ومن بين كافة الموجات المغناطيسية الكهربائية المختلفة ، لا يمكننا الاحساس الا بموجات الضوء وذلك بواسطة أعيننا (★) .

ومع ذلك يمكننا - بأجهزة خاصة - الكشف عن الموجات المغناطيسية الكهربائية عندما لا نشعر حواسنا نهائيا بوجود أية عملية تذبذبية . ويمكننا تتبع تحويل النوع من الطاقة الى الآخر في الذبذبات المغناطيسية الكهربائية تماما كما في حالة الذبذبات الميكانيكية . بل يمكننا تحويلها الى ذبذبات ميكانيكية ودراسة هذه الأخيرة مباشرة . وقد أظهر هذه الأبحاث أن القوانين العامة التي تحكم الذبذبات الميكانيكية تنطبق أيضا على الذبذبات المغناطيسية الكهربائية .

تتم محطات القوى الكهربائية المنشآت بتيار اشارة متردد . وقد اشتق هذا الاسم من أن التيار المار في المصباح المتوهج يهبط من قيمته العظمى الى الصفر ثم يتزايد ثانية في الاتجاه المضاد ثم بعد أن يصل الى نهاية عظمى يعود فيهبط الى الصفر ، وتتم هذه العملية بمعدل حوالى 50 مرة في الثانية ، ولما كان هذا التيار يتذبذب خمسين ذبذبة كاملة في الثانية فإنه يقال ان تردده 50 سايكل في الثانية .

وهنا يتساءل البعض : لماذا لا نشعر بأى ارتعاش في الضوء المنبعث من المصباح ما دامت قيمة التيار المار في المصباح تتغير دوريا وباستمرار بحيث تمر بالصفر ؟ .

(★) بالإضافة الى الموجات الضوئية ، يحس الجلد بالموجات المغناطيسية الكهربائية ذات الموجات الأطول من موجات الضوء المرئي - على ألا يزيد طولها على ثلاث أعشار المليمتر - على هيئة موجات حرارية . أما الموجات فوق البنفسجية التي تسبب اسمرار الجلد عند تعرضه للشمس والأشعة السينية التي يمكنها أن تدمر خلايا الجسم فمن الموجات المغناطيسية الكهربائية أيضا ولكن موجاتها أقصر من موجات الضوء .

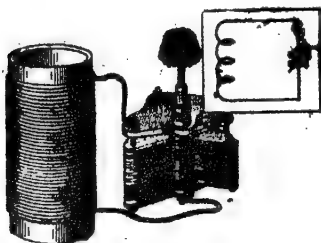
هذا - فى الحقيقة - نتيجة لأن التردد ٥٠ مايكل فى الثانية عال بحيث لا تجد شعيرة المصباح وقتا كافيا لتبرد بشكل ملحوظ عندما يمسح التيار ، وبالإضافة الى هذا ، فهناك خاصية معينة - تسمى المداومه (انظر الفصل الثانى) - تمنعنا من أن نرى مثل هذه التغيرات السريعة فى شدة الاضاءة . وهناك حسامات خاصة تسمى الخلايا الضوئية - سنتكلم عنها فى الفصل الثانى - مداومتها أقل بكثير من العين البشرية ، وهى لهذا قادرة تماما على الاحساس بالتغير فى شدة اضاءة المصباح المتوهج .

ولو كان تردد منبع التيار الكهربائى أقل لما كان هناك شك فى مقدرة العين البشرية على الاحساس بالارتعاش فى ضوء المصباح .

وتولد التيارات الكهربائية ذات التردد المنخفض عادة بوسائل ميكانيكية . فمثلا يولد التيار الكهربائى المستخدم فى الانارة بمولدات تيار متردد تدار بالبخار أو التربينات الايدروليكية .

وتولد الذبذبات ذات التردد العالى - بما فيها تلك المستخدمة فى الهندسة اللاسلكية - عادة بوسائل كهربائية بحتة .

وتنشأ الذبذبات الكهربائية عندما يوصل ملف من سلك نحاسى بمكثف (شكل ٣) ويتكون المكثف من ألواح معدنية تفصلها طبقات من الهواء أو أية مادة عازلة .



(شكل ٣) : دائرة كهربائية تتكون من مكثف وملف وتمثيلها الرمضى .

وللمكثفات القدرة على اختزان الطاقة الكهربائية ، وكلما زادت سعة المكثف زادت كمية الطاقة المخزنة . ويمكن مقارنة سعة المكثفات بسعة الأوعية العادية إلا أنها لا تحتزن سائلا أو غازا بل طاقة كهربائية . وتتوقف السعة الكهربائية للمكثف على تركيبه وتقاس بوحدات خاصة تسمى الفاراد وهذه الوحدات كبيرة جدا ، لهذا استخدم الجزء من مليون من الفاراد (الميكروفاراد) أو حتى الواحد من مليون من الميكروفاراد (البيكوفاراد) فى القياسات العملية .

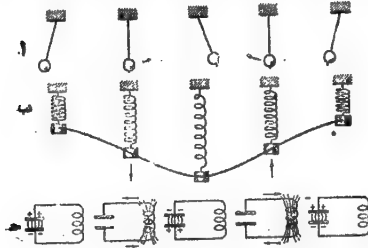
وإذا شحن مكثف ذو سعة عالية - (١ ميكروفاراد مثلا) بالطاقة الكهربائية من بطارية جافة عادية ذات ٨٠ فولتا ، فستنتج - عند قصر دائرة طرفيه - شرارة يصحبها صوت مسموع .

ويمكن للملفات المصنوعة من الأسلاك أن تحتزن الطاقة أيضا وذلك نتيجة لأن التيار الكهربائى المار فى أى ملف لا يمكنه التوقف فورا . وهذه ظاهرة نذكرنا بالقصور الذاتى للأجسام العادية المتحركة . ويتوقف المعدل الذى يتناقص به التيار الكهربائى المار فى ملف بعده فاصل منبع القدرة الكهربائية عنه على حث الملف ، الذى يتوقف بدوره ، على حجم الملف وشكله وعدد لفاته ويزيد حث الملف بزيادة حجمه وعدد لفاته .

وعندما يمر تيار مستمر فى ملف ، يتكون حوله مجال مغناطيسى ، فإذا كان التيار قويا بالدرجة الكافية ، يمكن لمثل هذا الملف أن يجذب الأجسام الحديدية ، أى أنه يصبح مغناطيسا . وهذا المجال المغناطيسى للملف هو الذى يخزن طاقة التيار المار فيه . وعندما تقطع دائرة المنبع ، يتلصق المجال المغناطيسى ، وهو بهذا يساعد على استمرار التيار فى الملف ، وكننتيجة لهذا لا يتوقف التيار فورا وإنما يتناقص بالتدريج ، ويبدا اختزان الطاقة الكهربائية عندما تقفل دائرة المنبع . وهذا يجعل تزايد التيار تدريجيا بحيث يصل الى نهايته العظمى فقط بعدما يحصل المجال المغناطيسى على كفايته من الطاقة . وكلما زاد حث الملف زادت الطاقة المخزنة فى مجاله المغناطيسى وزاد الزمن الذى يستغرقه التيار ليصل الى نهايته العظمى التى تحددها فلطية المنبع ومقاومة الملف .

وإذا وصل ملف عبر مكثف مشحون ، يسرى تيار فى الملف يتزايد تدريجيا ، ويتكون مجال مغناطيسى حول الملف يمتص الطاقة الكهربائية التى كانت مخزنة فى المكثف . ويصل التيار وكذلك شدة (اتساع) المجال المغناطيسى الى أقصى قيمة عندما تستهلك الطاقة الكهربائية المخزنة فى المكثف . وفى هذه اللحظة تكون الطاقة الكهربائية بأكملها قد تحولت

الى طاقة مغناطيسية في المجال المغناطيسي للتيار المار في الملف . ويمكن مقارنة هذه الطاقة بطاقة الحركة لبندول متحرك (شكل ٤) .



(شكل ٤) : ثلاث نظم تذبذبية :

١ - بندول ب - وزن متصل بزنبرك

ج - دائرة تذبذبية كهربائية أثناء التذبذب تتحول فيها طاقة الوضع الى طاقة حركة ثم الى طاقة وضع ثانية .

وبالرغم من استهلاك الطاقة المخزنة في المكثف ، يستمر التيار في السريان في نفس الاتجاه السابق ، وتدفعه في هذا الاتجاه طاقة المجال المغناطيسي الذي تكون في الجزء الأول من العملية . وهذا التيار يشحن المكثف ثانية ولكن بحيث يصبح اللوح الذي كان موجبا في البداية مشحون بشحنة سالبة وبالعكس . ويستمر التيار في السريان بتأثير طاقة المجال المغناطيسي - كما لو كان بالقصور الذاتي - متناقضا في قيمته حتى يصل الى الصفر .

ويتوقف التيار عن السريان نهائيا في اللحظة التي يستهلك فيها المجال المغناطيسي تماما ، وفي نفس الوقت يكون المكثف قد شحن ثانية بحيث يعود الى فلطيته الأصلية وبهذا تكون الطاقة المغناطيسية قد تحولت الى طاقة كهربائية تعود الى دفع تيار كهربائي في الدائرة ولكن في الاتجاه العكسي . ويمكن أن تستمر هذه العملية بلا نهاية اذا لم تفقد الطاقة الكهربائية في تسخين الأسلاك أو بالتبديد في الفضاء .

وبهذا تنشأ في دائرة تتكون من سعة وحث عملية تذبذبية تتحول فيها الطاقة الكهربائية الى مغناطيسية وبالعكس ، ويسرى تيار متردد في الملف وتتكون شحنة مترددة باستمرار عبر المكثف . ويتوقف الزمن

المطلوب لكل ذبذبة (فترة الذبذبة) على قيم المسعة والحث فى الدائرة .

وفى كل ذبذبة ، تتسبب مقاومة الأسلاك فى فقد جزء من الطاقة المغناطيسية الكهربائية فى تسخينها ، وكذلك يفقد جزء من الطاقة فى تسخين العازل - الذى يعتبر جزءا من المكثف - أو فى جذب لفات الملف الى بعضها . وكنتيجة لهذا ، تأخذ سعة الذبذبات الكهربائية فى التناقص ، أى تأخذ الذبذبات فى التضاؤل . ومع ذلك فليس هذا هو انسبب الوحيد الذى من أجله تتضاءل الذبذبات ، بل هناك أيضا سبب آخر ، فان الطاقة الكهربائية لا تتركز يكاملها فى المكثف ، فبهما كانت المسافة بين ألواح المكثف صغيرة ، يمتد جزء من المجال الكهربائى خارج المكثف . منتشرا فى مناطق كبيرة من الفضاء . وكذلك توجد نفس الظاهرة بالنسبة للمجال المغناطيسى للملف . وبهذا يتضح أن هناك جزءا معيناً من الطاقة المغناطيسية الكهربائية الموجودة فى المجال المغناطيسى الكهربائى لا يظل محصوراً فى نطاق الدائرة أثناء التذبذب ، بل يشع فى الفضاء على شكل موجات مغناطيسية كهربائية . ويكون تردد هذا الاشعاع هو نفس تردد الذبذبات فى الدائرة وبسرعة انتشاره مساوية لسرعة انتشار موجات الضوء .

وإذا لم تكن أبعاد المكثف والملف والأسلاك الموصلة صغيرة بالدرجة الكافية بالنسبة لطول الموجة المغناطيسية الكهربائية المتولدة ، فان كمية الطاقة المشعة تصبح كبيرة .

وقد أظهرت الأبحاث المتعددة أن طبيعة الموجات المغناطيسية الكهربائية هى نفس طبيعة الضوء المرئى وأن الفرق الوحيد بينهما هو التردد وبالتالى طول الموجة . وهذه الموجات المغناطيسية الكهربائية التى تتراوح أطوال موجاتها من عدة كيلو مترات الى كمور من المليمتر هى التى تستخدم فى الهندسة اللاسلكية .

وفى غالبية الاستخدامات العلمية والفنية للمعدات اللاسلكية ، يكون اشعاع الطاقة المغناطيسية الكهربائية خارج حدود المنشأة ضاراً ، وفى هذه الحالات ينتقى المهندسون تصميمات المكثفات والملفات بعناية لتركيز طاقة المجال المغناطيسى الكهربائى داخلها .

ولكن الأمر على العكس تماماً بالنسبة للاتصالات اللاسلكية والاذاعة والتليفزيون وباقى الاستخدامات اللاسلكية المتضمنة ارسال الاشارات لمسافات بعيدة ، اذ يكون اشعاع الطاقة المغناطيسية الكهربائية على شكل

موجات لاسلكية أمرا ضروريا جدا * وقد عمد بوبوف - مخترع الراديو - إلى زيادة ذلك الجزء من المجال الكهربائي الذي يقع خارج المكثف اصطناعيا لتحويل أكبر كمية من طاقة الذبذبات الكهربائية إلى موجات لاسلكية .

لهذا أبعد لوحى المكثف الواحد عن الآخر بحيث كان غالبية مجال المكثف خارجه . وكان لوحا هذا المكثف على شكل سلكنين طويلين أطلق على أحدهما - المركب على عامود - اسم الهوائى ، بينما مد الثانى قريبا من الأرض وسماه السلك المقابل (وهو ليس ضروريا إذا كان الطرف الثانى للملف الحثى متصلا بالأرض) .

وقد لعبت فكرة الدائرة التذبذبية « المفتوحة » واختراع الهوائى دورا رئيسيا فى تطوير الاتصالات اللاسلكية .

وقد أمكن الحصول على نتائج أحسن بتوليف الهوائى .

نحن نعرف الآن ان الدائرة التذبذبية الكهربائية تتكون من سعة وحث . وتتركز السعة عادة فى مكثف والحث فى ملف من السلك . ومع ذلك فلكل سلك - ولو لم يكن ملفوفا على شكل ملف - بعض الحث ، وهذا الحث أقل بالطبع من حث نفس السلك إذا لف على هيئة ملف . ولهذا السلك أيضا بعض السعة ، ونتيجة لهذا يمكن اعتبار الهوائى دائرة تذبذبية إلى حد ما .

فاذا نظرنا إلى الهوائى كمثانة تذبذبية ذات سعة وحث محددين، نجد أنه يتميز - كاية دائرة تذبذبية - بتردد رنين - أو تردد طبيعى - خاص . فاذا لم ينطبق التردد الطبيعى للهوائى وتردد الذبذبات الكهربائية التى تغذيه ، يكون التيار فى الهوائى صغيرا ، أما إذا انطبق التردد الطبيعى للهوائى وتردد الذبذبات الكهربائية ، فإن تيار الهوائى يكبر كثيرا عن الحالة الأولى . فاذا أردنا زيادة كفاية الهوائى يجب أن تتمكن من تغيير تردده الطبيعى بحيث يمكننا أن نوائفه على الرنين مع تردد الذبذبات الكهربائية .

ولما كان تردد الرنين متوقفا على قيمة السعة والحث فى الدائرة التذبذبية ، فانه يجب أن تتغير سعة وحث الهوائى حتى يمكن موافقته . وبالرغم من أن سعة الهوائى وحثه يتوقفان على طوله ، إلا أنه ليس من السهل موافقة الهوائى بتغيير طوله . لهذا يوائف الهوائى - فى حدود المدى المعتاد من الترددات - باستخلام مكثف متغير أو ملف متغير يتصل

على التوالى مع الهوائى • وتكون هذه السعة أو هذا الحث جزءا سهلا
التغيير من دائرة الهوائى انتزديبية • وبهذا يسهل تغيير تردد رنين
الهوائى أو بعبارة أخرى تسهل موالفته •

ويرفع المكثف المتصل على التوالى مع الهوائى تردده الطبيعى ، أى
يوافقه على موجة أقصر • أما الملف الحثى المتصل على التوالى مع الهوائى
فينقص التردد ، أى يزيد طول الموجة • ويسمى هذا الملف بملف
التحميل •

وتزيد موالفة هوائى جهاز الارسال من تيار الهوائى وبالتالى من
اشعاع الموجات اللاسلكية •

كذلك تزيد موالفة هوائى جهاز الاستقبال من شدة التيار الناتج
عن الموجة اللاسلكية المستقبلة مما يزيد من حساسية جهاز الاستقبال
كما تهبه أيضا خاصية هامة هى الانتقائية ، أى قابلية الجهاز لاستقبال
الموجات ذات الطول المطلوب فقط • ويمكن معرفة مدى أهمية هذه
الخاصية بسهولة من المثال الآتى : لنفترض أن هوائيا غير موافق استقبال
اشارتين من محطات لاسلكيتين لهما نفس القدرة وعلى نفس المسافة ولكن
تعملان على موجتين مختلفتين • هاتان المحطتان ستولدان تيارين بنفس
الشدة فى الهوائى غير الموائف ولهذا تسمع المحطتان فى وقت واحد وبنفس
الصوت ، مما ينتج عنه أن تتداخل المحطتان بحيث يستحيل
الاستقبال •

أما إذا كان الهوائى موافقا على موجة إحدى هاتين المحطتين ، يكون
التيار المستحث فيه نتيجة لاشارات هذه المحطة أكبر بعشرات المرات من
الأخرى ، وتزيد قوة استقبال هذه المحطة بشكل واضح • وفى نفس الوقت
تظل قوة استقبال المحطة الأخرى بلا تغيير فلا تتداخل مع المحطة
المنتقاة •

وفى مدى الموجات الطويلة والمتوسطة يكون من الصعب جعل الهوائى
طويلا بالدرجة الكافية للموالفة على تردد الرنين بدون استخدام ملف
على التوالى • أما فى مدى الموجات القصيرة - وبالأخص فى مدى الموجات
المترية المستخدمة فى التليفزيون - فإن الموقف يختلف تماما •

تصنع هوائيات التليفزيون عادة من موصل واحد مقسم الى جزئين
متساويين • ويتكون أبسط هوائى تليفزيونى من جزئين متساويين من
أنبوب معدنى ويتصل بجهاز الاستقبال أو الاررسال بسلكين يتصلان

بنصفيه . وتتوقف موالفة مثل هذا الهوائى أساسا على طوله . ويكون تردد رنين معظم الهوائيات الشائعة من هذا الطراز على موجة يساوى طوليا ضعف طول الهوائى ، ويكون رنين مثل هذا الهوائى - ويسمى هوائى ثنائى القطب بطول نصف موجة - بالنسبة للموجات اللاسلكية شبيها بالطريقة التى يحدث بها رنين وتر مشدود من طرفيه مع موجة صوتية .

وهناك بعض أنواع من الهوائيات - وهى المستخدمة فى ارسال واستقبال موجات الرادار السنتيمترية - لا تشبه تلك المستخدمة فى أجهزة ارسال واستقبال الموجات الطويلة . وسنتناول هذه الهوائيات التى تشبه الأنواء الكاشفة والأبواق سواء فى المظهر أو طريقة العمل بتفصيل أكثر فى الفصل الثالث .

ومن كبار المتخصصين فى ميدان نظرية الهوائيات وهندستها أ . ا . ويستولكورز الذى منحه ميدالية بوبوف الذهبية . وقد قام العلماء م . ا . بونش - بروييفتش ود . ا . روجانسكى وف . ف . تاتارينوف وم . ا . شوليكن وج . ز . ايزنبرج وى . ج . كلياتسكين وم . ا . ليونوفيتش و . ا . ل . مينتس وم . س . نيمان وى . ن . فيلد وآخرون فى الاتحاد السوفيتى وج . و . و . هاو وك . فرانكلين فى إنجلترا وف . كارتر و س . شيلكونوف وآخرون فى الولايات المتحدة بمجهودات كبيرة فى هذا الميدان .

الصمامات الالكترونية

تنضال الذبذبات الكهربائية التى قد تنشأ لسبب أو آخر فى دائرة تذبذبية بضى الوقت نتيجة لفقد الطاقة . وفى الأيام الأولى لللاسلكى كانت تستخدم شرارة كهربائية لاثارة الذبذبات . أما الآن فتولد الذبذبات الكهربائية عموما بالاستعانة بالصمامات الالكترونية .

ويعتمد عمل الصمام الالكترونى على ما يسمى « بظاهرة اديسون » التى اكتشفها ذلك المخترع العظيم سنة ١٨٨٤ ، وفى ذلك الوقت كان اديسون فى صراع مع ظاهرة غريبة كانت تحدث فى المصابيح الكهربائية المتوهجة . وفى تلك الأيام كانت شعيرة المصباح المتوهج توضع فى غلاف زجاجى يفرغ منه الهواء جيدا ، ولعدم وجود هواء داخل الغلاف ، تسخن الشعيرة ، حتى تتوهج بضوء ساطع ولكنها لا تحترق ، وكان التيار المستخدم فى تسخين الشعيرة مستمرا .

ومع ذلك فقد اكتشف سريعا أنه بالرغم من الحرص الشديد في تحضير الشعيرة وتفريغ الهواء من الغلاف ، كانت المصابيح تحترق بسرعة ، والأكثر من هذا أنها كانت تحترق من طرفها ، وبالأذات ذلك الطرف المتصل بالقطب الموجب للمنبع الكهربائي .

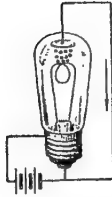
وقد لاحظ اديسون أن ذلك الطرف كان يتوهج بضوء أضعف من الطرف الآخر ، فإذا عكست قطبية المنبع يصبح الطرف الآخر أضعف ويحترق بسرعة . وبهذا توصل اديسون الى أن احتراق المصباح لم يكن نتيجة لعيب في الشعيرة ولكن نتيجة لعدم انتظام التسخين على طولها ، الأمر الذي كانت له علاقة ما بقطبية الماكينة الكهربائية التي تغذي المصباح .

وبعد أبحاث طويلة توصل اديسون الى استنتاج أن الشعيرة المتوهجة تبعث دقائق مشحونة بشحنة سالبة تنجذب الى الجزء من الشعيرة المتصل بقطب الماكينة الموجب والذي يحمل - لهذا - شحنة موجبة . وهذه الشحنة الموجبة هي التي تجذب الالكترونات التي تصطدم - بعد أن تتسارع الى سرعات كبيرة - بالطرف الموجب للشعيرة ، ويتسبب هذا الاصطدام في رفع درجة حرارة الشعيرة جدا حتى تتحلل .

ومع ذلك لم يستغنى عن اكتشاف اديسون في منع احتراق شعيرات المصابيح المتوهجة ، وكان السبب في ذلك - ببساطة - هو أن منابع تغذية تيار الاضاءة تحولت من التيار المستمر الى التيار المتردد وأصبح التحلل يحدث من الطرفين بانتظام مما منع الاحتراق المبكر للشعيرة ، كما طال عمر المصابيح الحديثة أيضا نتيجة للملثا بغاز خامل مثل الأرجون أو الكريبتون بدلا من تفريغها من الهواء . وهذا لا يقلل من تصادم الالكترونات بالشعيرة فحسب بل يقلل كثيرا أيضا من تبخر المعدن من سطح الشعيرة المتوهجة مما يؤخر التحلل كثيرا .

وهنا قد يبدو أنه لم يكن هناك داع لذكر هذا العمل من أعمال اديسون الذي لم يحل المشكلة التي كانت سببا فيه . ولكن كان من الأهمية العظمى للعلم أن استطاع اديسون أن يثبت لأول مرة أن التيار الكهربائي يمكن أن يمر في الفراغ في بعض الظروف وفي اتجاه واحد فقط ، من شعيرة متوهجة الى قطب بارد (★) . وكان هذا الاكتشاف هو أساس عمل الصمام الالكتروني (شكل ٥) .

(★) نعني باتجاه التيار في هذا الكتاب الاتجاه الذي تتحرك فيه الالكترونات .



(شكل ٥) : الرسم التخطيطي لتجربة اديسون • تعبر الالكترونات المنبعثة من الشعيرة المتوهجة في اللامپ وعندها تصطدم بلوح الألومنيوم تعود الى الشعيرة عن طريق السلك •

لماذا يستطيع المعدن المتوهج أن يبعث الالكترونات ؟ هذا نتيجة للتركيب الداخلي الطبيعي للمعادن • فبعض الالكترونات في المعادن مرتبطة ارتباطاً ضعيفاً بذراتها • مثل هذه الالكترونات « الحرة » يمكنها الحركة داخل المعدن من ذرة الى أخرى ، بينما يظل المعدن نفسه متعادلاً ، أى غير مشحون • هذه الحركة العشوائية للالكترونات الحرة في المعادن تجعلها موصلات جيدة للكهرباء (والحرارة) • فإذا ما وصلت قطعة من معدن أو سلك معدني بمصدر قوة دافعة كهربائية ، تنجذب الالكترونات الى الطرف الموجب ويسرى تيار كهربائي في المعدن • وهذا يعنى انه بالإضافة الى حركة الالكترونات العشوائية نتيجة للاثارة الحرارية ، تشترك الالكترونات في حركة منظمة نحو الطرف الموجب للمصدر •

وفي درجات الحرارة المنخفضة ، تكون طاقة الحركة العشوائية للالكترونات قليلة ولا تستطيع - عملياً - مغادرة المعدن (باستثناء تلك الحالات التي تعبر فيها الالكترونات سطح المعدن الى الالكترونوليت في الخلية الجلفانية) • بينما تزيد طاقة الحركة العشوائية للالكترونات بالتسخين وتستطيع أسرعها أن تغادر المعدن خلال السطح •

وكما خرج الكترون ، خسر المعدن بالطبع الشحنة السالبة للالكترونات وأصبح موجبا بحيث يجذبه اليه ثانية كما لو كان يناضل لاستعادته ، فإذا أراد الالكترون أن يترك المعدن ، وجب عليه أن يتغلب على هذا الجذب ، أى يجب أن يقوم ببعض الشغل ، وهذا الشغل يعرف بدالة شغل الالكترون • ولهذا السبب يصل انبعاث الالكترونات الى قيمة ملحوظة فقط في درجات الحرارة العالية ، عندما تكتسب كمية كافية

من الالكترونات الطاقة اللازمة لاداء هذا الشغل للتغلب على القوى الكهربائية التي تجذبها الى المعدن ثانية .

وتختلف قيمة دالة الشغل - التي تحدد درجة الحرارة المطلوبة للكاثود - من معدن الى معدن ، فهي عالية نسبيا للتنجستين النقي . وهذا هو السبب في ان شعيرات الصمامات الاولى التي كانت مصنوعة من التنجستين كانت تسخن حتى البياض ، ولكن تنخفض دالة شغل التنجستين كثيرا باضافة التورיום اليه ، ولهذا تعمل الكاثودات المخلوطة بالتورיום في درجات حرارة أقل . وكذلك يمكن تشغيل الكاثودات بدرجات حرارة أقل باضافة أكاسيد مختلفة وبالذات أكسيد الباريوم . ولا تحتاج مثل هذه الكاثودات الى أن تسخن لدرجة الاحمرار .

ويسمى الصمام الالكتروني المكون من قطبين فقط - كاثود متوهج وأنود بارد - بالصمام ذي القطبين أو الصمام الثنائي . فاذا اتصل الأنود بالكاثود في الصمام الثنائي بسلك ، تعود الالكترونات المتطايرة من الكاثود الساخن اليه ثانية في ذلك السلك بعد أن تصطدم بالأنود ، أي يسرى تيار كهربائي في ذلك السلك ، وهذا التيار يزيد بزيادة سطح الكاثود ونقص المسافة بين الكاثود والأنود . وتتوقف شدة التيار بالاضافة الى حجم الكاثود ومادته ، على درجة حرارة الكاثود . فكلما زادت درجة الحرارة زادت شدة انبعاث الالكترونات وزاد التيار .

ومع ذلك لا تصطدم جميع الالكترونات التي تغادر الكاثود بالأنود ، بل يطير جزء كبير منها عشوائيا في الفراغ بين الكاثود والأنود مكونا نوعا من « الشحنة الحيزية » وتمنع هذه الشحنة الحيزية السالبة الالكترونات الجديدة من مقادرة الكاثود .

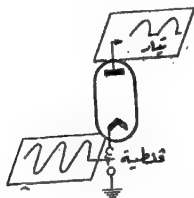
ولكن اذا زد الصمام الثنائي بطارية كهربائية بحيث يتصل طرفها الموجب بالأنود والسالب بالكاثود ، تنجذب الالكترونات الى الأنود ويزيد تيار الأنود بشدة ، وتقل كثافة « الغاز الالكتروني » بين الكاثود والأنود وتنبعث كميات جديدة من الالكترونات بسخاء من الكاثود ، وتنجذب هذه الالكترونات بدورها الى الأنود المشحون بشحنة موجبة .

فاذا زادت قطبية البطارية يزيد التيار المار في الصمام ، وتستمر هذه الزيادة الى أن تنجذب جميع الالكترونات المنبعثة من الكاثود الى الأنود ، ويقال في هذه الحالة ان الصمام قد « تشبع » ، فلا يزيد تيار الأنود بزيادة قطبية البطارية بعد ذلك .

أما إذا وصلت البطارية بالصمام بحيث يكون طرفها الموجب متصلا بالكاثود والسالب بالأنود ، فإن الالكترونات المنبعثة من الكاثود تتنافر مع الأنود المشحون بشحنة سالبة وتعود الى الكاثود ، وفي هذه الحالة لا يسرى أى تيار فى الصمام .

وبهذا نجد أن للصمام الثنائى تلك المقدرة الرائعة على امرار التيار فى اتجاه واحد فقط : من الكاثود الى الأنود .

وقد مهدت هذه الخاصية - التى اكتشفها اديسون - الطريق أمام ج . فليمنج سنة ١٩٠٤ لاستخدام صمام ثنائى لتقويم التيار على التردد وللفصل الاشارات عن الذبذبات عالية التردد التى ولدتها الموجات اللاسلكية فى الدوائر الموالفة لجهاز استقبال لاسلكى (شكل ٦) .

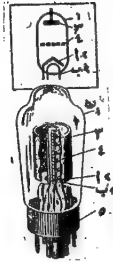


(شكل ٦) : يحول الصمام الثنائى التيار المتردد المسلط عليه الى تيار نابض فى اتجاه واحد .

وقد أظهرت الدراسة لخواص الصمام الثنائى أنه لا يستطيع تكبير الذبذبات الكهربائية ، اذ يجب لهذا الغرض أن يحتوى الصمام الالكتروني على قطب ثالث ، هو الشبكة .

وقد صنع هذا القطب - الذى يوضع بين الكاثود والأنود - أول ما صنع من شبكة معدنية دقيقة ، ومن هنا جاء الاسم (شكل ٧) . أما الآن فتصنع شبكات الصمامات ذات القدرة المنخفضة عادة على شكل حلزون من السلك يلف بين الكاثود والأنود ، أما فى الصمامات ذات القدرة العالية فتصنع الشبكة اليوم على شكل شبكة حقيقية .

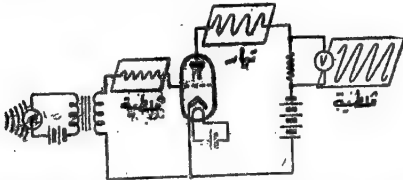
وتقوم الشبكة فى الصمام تقريبا بنفس وظيفة « جهاز التحكم »



(شكل ٧) : الصمام ذو الأقطاب الثلاثة (الصمام الثلاثي)

- | | |
|----------------|---------------|
| (١) الفلاد | (٢) الكاثود |
| (٢ ب) المسخن | (٣) الأنود |
| (٤) الشبكة | (٥) القاعدة |

الذى يديره السائق فى الترام • فبادارة ذراع هذا الجهاز يبذل السائق مجهودا صغيرا كى يبذل الموتور قدرة كبيرة أو صغيرة ، وكذلك تعمل شبكة الصمام الثلاثي التى تسمى عادة شبكة التحكم فى الاستعانة بالشبكة تتحكم الذبذبات الكهربائية الضعيفة التى يولدها الميكروفون المتصل بها (مثلا) فى البطارية القوية المتصلة بدائرة أنود الصمام (شكل ٨) •



(شكل ٨) مكبر بصمام ثلاثي • تتحكم الذبذبات الكهربائية الضعيفة الناتجة عن الميكروفون الموصل بين الشبكة والكاثود فى تيار أنود الصمام • ويكون اتساع ذبذبات تيار الأنود أكبر بكثير من اتساع تيار الذبذبات فى دائرة الميكروفون • وتكون فلطية مترددة مكبرة عبر المقاومة الموصلة بدائرة الأنود •

وبما أن الشبكة موضوعة بين الكاثود والأنود ، فإن جميع الإلكترونات لابد وأن تمر بين لفات الشبكة وهي فى طريقها من الكاثود الى الأنود . فإذا لم تكن هناك شحنة كهربائية عليها ، فإنها لا تؤثر على مرور الإلكترونات خلالها وفى هذه الحالة يعتمد تيار الأنود على تصميم الصمام وقيمة فلطية الأنود فقط ، أما إذا شحنت الشبكة بشحنة سالبة ، فإن الإلكترونات - المشحونة دائما بشحنة سالبة - تتنافر معها ولا يستطيع أبداً أن يصل الى الأنود اطلاقاً بل يجبر على العودة الى سحابة « الغاز الالكترونى » المحيطة بالكاثود ، وينخفض بالطبع تيار الأنود . وإذا كانت الشحنة السالبة على الشبكة كبيرة بحيث لا يتمكن أى إلكترون من المرور خلالها الى الأنود ، فإن تيار الأنود يتوقف ، وبالرغم من وجود شحنة موجبة عليه لا يمر تيار كهربائى فى الصمام ، وهنا يقال أن الصمام فى حالة « قطع » .

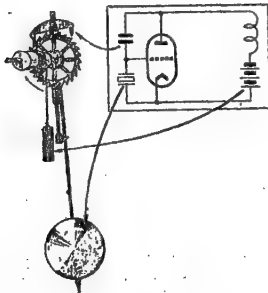
أما إذا وصلت فلطية موجبة بالشبكة ، فإن تيار الأنود يزداد بزيادة فلطية الشبكة على أساس أن فلطية الأنود ثابتة ، وبذلك تنبثق الإلكترونات المنجذبة بالفلطية الموجبة على الشبكة خلالها بالقصور الذاتى وتصل الى الأنود بكميات أكبر مما لو كانت الشبكة متعادلة ، وهذا يزيد بالطبع من تيار الأنود ، وتستمر زيادة تيار الأنود بزيادة فلطية الشبكة الى أن تجعل الشبكة جميع الإلكترونات المنبعثة من الكاثود تصل الى الأنود ، ولا يزيد تيار الأنود بعد ذلك لأن الصمام يكون قد وصل الى حالة التشبع .

وقد مكن التأثير القوى لفلطية الشبكة من استخدام الصمام الالكترونى فى تكبير الذبذبات الكهربائية الضعيفة .

ولا يمكن استخدام الصمام ذو الأقطاب الثلاثة فى تكبير الذبذبات الكهربائية فحسب بل فى توليدها أيضاً . وفى هذه الحالة ، يحول الصمام - الذى يكون موصلاً بدائرة خاصة - طاقة مصدر التيار المستمر (البطارية مثلاً) الى طاقة ذبذبات كهربائية .

ويسمى الجهاز الذى يولد ذبذبات كهربائية بالاستعانة بصمام الكترونى « بالمذبذب الصمامى » . ويحتوى المذبذب الصمامى - علاوة على الصمام - على دائرة موالفة وما يسمى بدائرة التغذية المرتدة . فإذا كانت الدائرة الموالفة موصلة بدائرة الأنود ، فإن جزءاً من الطاقة الموجودة فى هذه الدائرة تغذى ثانية شبكة الصمام ، ونتيجة لهذا

تتحكم الذبذبات فى الدائرة الموالفة فى تيار أنود الصمام الذى يساعد
 - بدوره - على استمرار الذبذبات فى الدائرة الموالفة (أو التذبذبية)
 وتشبه نظرية المذبذب الصمامى طريقة عمل آلية الساعة
 (شكل ٩) .



(شكل ٩) : المذبذب البلورى وآلية الساعة

فى الساعة ، يتصل البندول - الذى يحدد تردده سرعة الساعة
 - بالوزن المتحرك أو الزنبرك عن طريق آلية خاصة (مجموعة الرقاص)
 ومجموعة تروس . وتتكون مجموعة الرقاص من شوكة متارجحة وترس
 سقاطية بأسنان ذات شكل خاص ، وبهذه الآلية يتحكم البندول فى
 سرعة الساعة ويتلقى - فى نفس الوقت - جزءا من طاقة الوزن
 للاستمرار فى التذبذب .

وكما أن طاقة الساعة تكون مختزنة فى الوزن المرفوع أو الزنبرك
 الملفوف ، فإن طاقة المذبذب الصمامى تكون مختزنة فى بطارية الأنود .
 وفى المذبذب ، تتحكم الدائرة الموالفة فى تردد التذبذب . أما فى الساعة
 فيقوم البندول بذلك ، إذ يحدد البندول بمساعدة الرقاص معدل انخفاض
 الوزن ، وفى المذبذب تتحكم الدائرة الموالفة فى تيار بطارية الأنود
 بمساعدة الصمام الالكترونى . وفى كلتا الحالتين يستخدم جزء من
 الطاقة المختزنة فى الاحتفاظ بذبذبة « عضو التحكم » .

وإذا أريد الحصول على دقة عالية فى الساعة ، تتخذ احتياطات خاصة للاقلال من تأثير التغير فى درجة الحرارة وانضغط فيصنع البندول من مواد لا تتغير أبعادها كثيرا بتغير درجة الحرارة ، وأحيانا توضع الساعات الدقيقة فى حجرات على عمق كبير من سطح الأرض حيث الحرارة ثابتة على مدار السنة ، كما توضع الساعات فى أغلفة خاصة لحمايتها من تغير الضغط الجوى .

وتتخذ اجراءات مشابهة فى المذبذبات الصمامية ، ففي المذبذبات الدقيقة ، تستبدل الدائرة الموالفة المعتادة ببلورة من الكوارتز تؤدى - من حيث العمل - نفس وظيفة الدائرة التذبذبية ، ولكن باستقرار أكبر ، فإذا أريد استقرار أكثر من ذلك توضع البلورة أحيانا فى وعاء مفرغ من الهواء ويحفظ فى جهاز ذى ثرموستات يحتفظ بدرجة حرارتها ثابتة أوتوماتيكيا .

والذبذبات المولدة فى المذبذب الصمامى لا تستطيع ارسال أية اشارات بحالتها الطبيعية بأكثر ما يستطيع الضوء الثابت المنبعث من مصباح متوهج . فإذا أريد ارسال اشارات بوساطة مصباح يجب أن يضاء ويطفأ طبقا لنظام شغرى خاص أو تغير شدة اضاءته أو توضع أمامه مرشحات ملونة لتغيير لون ضوئه . وهذه العمليات التى تغير الاضاءة المنظمة للمصباح ما هى الا أمثلة لتشكيل (تغيير) الفيض الضوئى للمصباح الذى يمكن بوساطته نقل الاشارات .

وينطبق هذا على ارسال الاشارات باللاسلكى ، فإذا أرسلت محطة لاسلكية ما موجات لاسلكية غير متقطعة ذات تردد وشدة ثابتين فإن المستمع لا يستطيع أن يعرف الا ما اذا كانت المحطة عاملة أم لا ، أما اذا أريد ارسال اشارات ، فيجب احداث اضطراب بطريقة ما فى التشغيل المنتظم للمحطة . وهناك طرق متعددة لهذا ، فمثلا يمكن إيقاف المحطة وتشغيلها لفترات تناظر للنقل والشرط المستخدمة فى شجرة مورس .

كما يمكن تغيير شدة الاشارة فقط بدون إيقاف المحطة بحيث تتبع هذه التغيرات نمطا معيناً ، وتسمى هذه الطريقة بطريقة « تشكيل الانساع » حيث ان اتساع (شدة) الموجات اللاسلكية هو الذى يتشكل (يتغير) . وأخيرا يمكن تغيير تردد الذبذبات التى تضعها المحطة ، وتسمى هذه الطريقة « تشكيل التردد » وتناظر تغيير اللون فى المثال البصرى المذكور سابقا .

وقد اخترع المذبذب الصمامي المستخدم فى توليد ذبذبات غير متضائلة فى عدد من البلاد فى وقت واحد تقريبا (سنة ١٩١٣) ، ولكن تعطى الأسبقية فى هذا للعالم الألمانى ه . مولر . كما بلور العالمان الألمانيان ه . باركهاوزن و ه . مولر والعالم الأمريكى د . س . برينس والعلماء السوفيتى م . ف . شوليكين و أ . ي . بروج و أ . أندرونوف و أ . ل . مينتز وى . ج . كلياتسكين نظرية المذبذبات الصمامية .

ويعود الفضل بصفة خاصة للعالم السوفيتى م . أ . بونش - بروفيتش فى تطوير صمامات الارسال القوية ، ففي سنة ١٩٢٠ ، صمم بونش - بروفيتش - الذى انتخب بعد ذلك عضوا مراسلا فى أكاديمية العلوم فى الاتحاد السوفيتى - صمام ارسال وصلت قدرته الى أكثر من كيلوات واحد . وكان أنود هذا الصمام يبرد بالماء الجارى . وفى سنة ١٩٢٥ عرض بونش - بروفيتش فى معرض الاتحاد اللاسلكى فى موسكو صمام ارسال قدرته ١٠٠ كيلو وات . وجدير بالذكر أن معارض اللاسلكى الأوربية عرضت فى نفس العام لأول مرة نماذج عملية لصمام من تصميم ماركونى قدرته ٢٠ كيلووات صنعته مصانع فيليبس فى هولندا . وفى نفس الوقت لم يكن هناك انتاج لصمامات قوية لا فى أوروبا ولا فى أمريكا ، اذ واجه المصممون صعوبات كبيرة فى محاولاتهم لزيادة قدرة الصمامات المفرغة .

وقد حل الأكاديمى أ . ل . مينتز مشكلة زيادة خرج المحطات اللاسلكية مع استخدام الصمامات الموجودة بالفعل ، اذ ابتكر طريقة التوصيل الجماعى واستخدمها سنة ١٩٣٣ فى انشاء احدى المحطات اللاسلكية . فقد وجد طريقة لتشغيل عدة صمامات من نفس النوع معا لانتاج موجات لاسلكية ذات قدرات كبيرة ، ثم استخدمت طريقة مشابهة بعد ذلك فى الولايات المتحدة ، وقد صممت عدة محطات لاسلكية قوية ونفذت تحت اشراف أ . مينتز بما فيها محطة بلغت قدرتها ١٢٠٠ كيلو وات بدأت ارسالها أثناء الحرب العالمية الثانية ، وقد صممت أيضا صمامات الارسال وطورت تحت ارشاده .

وقد قام أ . مينتز بأعمال هامة فى ميدان استخدام الهندسة اللاسلكية فى الأبحاث الخاصة بتسارع الدقائق المشحونة ، وقد كان بالذات واحدا من قادة المجموعة التى قامت بتصميم وتطوير أكبر سينكروترون فى العالم ، والذى مكن من الحصول على دقائق ذات طاقة بلغت ١٠٠٠٠ مليون الكترون فولط ، كما قام مينتز أيضا بأعمال

كبيرة في ميادين الهندسة اللاسلكية الأخرى . وقد منح ميدالية بوبوف الذهبية سنة ١٩٥٠ لأعماله الباهرة .

وفي سنة ١٩٥١ منح هذه الجائزة الأكاديمي أ.ى. برج الذى تركزت أعماله حول نظريات المذبذبات الصمامية وحساباتها وكذلك استقرار التردد والتشكيل والاستقبال اللاسلكي وتحديد الاتجاهات باللاسلكي وميادين أخرى من ميادين الهندسة اللاسلكية .

وتستطيع المذبذبات الصمامية التى تستخدم الصمامات الثلاثية أن تعمل في مدى كبير من الموجات ، من أطولها الى الموجات السنثيمترية . وبالطبع لا يتوقف تصميم الصمام على قدرته فقط بل أيضا على مدى الترددات الذى يعمل فيه .

ومع ذلك لا يصلح الصمام الثلاثي لتوليد ذبذبات قوية في المدى الديسيمترى ، ناهيك عن الموجات الأقصر .

والسبب في ذلك إن مدة الذبذبة في هذا المدى تقارب زمن انتقال الالكترونات من الكاثود الى الشبكة ، ونتيجة لهذا يضطرب الفعل المتبادل بين الذبذبات الكهربائية المسطرة على الشبكة والالكترونات ، وتفقد الشبكة قدرتها على التحكم في تيار الالكترونات بدون استهلاك طاقة كبيرة ، ويفقد الصمام قدرته على تكبير الذبذبات . وسنروى قصة التغلب على هذه الصعوبة في الفصل الذى سنصف فيه الصمامات الالكترونية الحديثة المستخدمة الآن في محطات الرادار .

امتداد الموجات اللاسلكية

يعتبر هوائى محطة الارسال اللاسلكى أداة لتحويل طاقة الذبذبات عالية التردد الى طاقة موجات مغناطيسية كهربائية . وتنتشر هذه الموجات عادة من الهوائى في جميع الاتجاهات ، انتشار الضوء من فانوس ضخم . وتستحث الموجات اللاسلكية في انتقالها على سطح الأرض ذبذبات كهربائية في جميع الأجسام القادرة على توصيل الكهرباء . وتستهلك طاقة هذه الموجات تدريجيا في حث هذه الذبذبات والاحتفاظ بها .

ولا تستهلك طاقة الموجات اللاسلكية في حث تيارات كهربائية في الأجسام المعدنية فحسب بل يفقد جزء كبير منها في الأرض ، ذلك لأن الأرض ليست عازلا مثاليا ، وعلى الرغم من أن التيارات المستحثة في المتر

المربع من سطح الأرض صغيرة ، فان مجموع المفقودات يصل الى جزء كبير من الطاقة المشعة .

وهذا هو السبب فى أن مسافة امتداد الموجات الطويلة والمتوسطة (وستتناول الموجات القصيرة فيما بعد) لا تعتمد على قدرة المحطة اللاسلكية فحسب بل تعتمد أيضا على حالة التربة . فمثلا عندما تتجمد الأرض وتغطي بالثلج فى الشتاء ، تكون موصلا أردأ مما فى الصيف ، ونتيجة لهذا تكون التيارات التى يستحثها هوائى المحطة اللاسلكية فى الأرض صغيرة ولذلك فان محطات الموجات الطويلة والمتوسطة تسمح فى الشتاء على مسافات أبعد وصوت أعلى مما يحدث فى الصيف .

وهنا يبدو من المناسب أن نطرح السؤال التالى : اذا كانت الموجات اللاسلكية تمتد بطريقة تشبه طريقة امتداد الضوء المرئى ، فكيف يمكن الاتصال اللاسلكى على مسافات بعيدة ؟ وكيف « تنحنى » الموجات اللاسلكية حول الكرة الأرضية ؟

ولكن يجب قبل القاء الضوء على هذا الموضوع أن نذكر عاملا آخر له دور كبير فى الاتصالات اللاسلكية ، هذا العامل هو أن قوة استقبال المحطات اللاسلكية ومداهها لا تعتمد على الفصل من السنة وحالة التربة فقط ، فكل مستمع للاذاعات يعرف جيدا أن محطات الموجات الطويلة والمتوسطة تسمح بعد الغروب وحتى نهاية الليل أقوى مما تسمح بالنهار، كما يمكن استقبال عدد كبير جدا من المحطات بالليل لا يمكن الاستماع اليه بالنهار اطلاقا .

لماذا يؤثر الوقت من اليوم على الاستقبال اللاسلكى ؟ من الطبيعى أن ترتبط هذه الظاهرة بالشمس ، وقد أظهرت الملاحظات أن الشمس تسبب تدهورا فى الاستقبال اللاسلكى ، كما وجد أن الاستقبال يتحسن فى أوقات كسوف الشمس حتى أنه يصل فى لحظة الكسوف الكلى الى نفس درجة جودته بالليل .

نحن لا نستقبل من الشمس أشعة الضوء المرئى فقط ، بل تبعث الشمس بالإضافة اليها كمية كبيرة من أشعة غير مرئية ذات طبيعة تشبه طبيعة الموجات اللاسلكية والضوء ، هذه الموجات هى موجات مغناطيسية كهربائية ولكن موجتها أقصر من أقصر موجة فى الضوء المرئى ، وتعرف بالأشعة فوق البنفسجية .

وللأشعة فوق البنفسجية طاقة عظيمة كما أنها نشطة جدا ، وهى التى تسبب اسمرار الجلد عند تعرضه لضوء الشمس كما أنها قادرة على

قتل بعض الكائنات الحية الدقيقة وتحويل ألوان بعض الأصباغ والطلاء . الخ . وهي تدمر ذرات الغازات المكونة للهواء ، اذ تجبر الالكترونات على مفادرة الذرات مما يجعل الذرات المتعادلة عادة تحمل شحنة موجبة . وتسمى الذرات المشحونة أيونات .

وكما نعرف جميعا ، تتكون كل ذرة من نواة تدور حولها الالكترونات، وتحمل الالكترونات شحنة سالبة بينما تحمل النواة شحنة موجبة تساوي مجموع شحنات الالكترونات التي تدور حولها . وتعادل الشحنة السالبة للالكترونات الشحنة الموجبة للنواة مما يفقد الذرة ككل أية شحنة كهربائية ، أو بعبارة أخرى يجعلها متعادلة .

فاذا ما تسببت الأشعة فوق البنفسجية في أن تفقد الذرة الكترونات أو أكثر من الكتروناتها ، لا تعادل الالكترونات المتبقية شحنة النواة الموجبة . وبهذا تظهر شحنة موجبة على الذرة ، وهذا يعنى أن الذرة قد أصبحت أيونا موجبا .

وبالاضافة الى الضوء المرئي والأشعة فوق البنفسجية ، تبعث الشمس فيضا من الدقائق الصغيرة مثل الالكترونات والبروتونات (نويات ذرة الهيدروجين) ودقائق أخرى تنتقل في الفضاء بسرعات عالية . وعندما تصطدم هذه الدقائق بذرات الغازات في طبقات الجو العليا ، تحول هذه الدقائق أيضا جزءا من الذرات الى أيونات (★) ونتيجة لهذا نجد أن طبقات جو الأرض العليا مشبعة بالأيونات والالكترونات الحرة .

وقد افترض العالم الفيزيائي الانجليزي « أوليفر هيفيسايد » والمهندس الأمريكى « آرثر كينيللى » فى سنة ١٩٠٢ أن الجزء العلوى من جو الأرض يحتوى على منطقة متأينة (الأيونوسفير) ، وكان أساس هذا الفرض هو أن الموجات اللاسلكية تمتد الى مسافات كبيرة وراء الأفق ، وطبقا للفرض « كينيللى وهيفيسايد » - الذى تحقق بعد ذلك بالملاحظة العملية - فإن الأيونوسفير يجعل الموجات اللاسلكية تسير فى مسار منحني يدور حول سطح الأرض .

(★) تبعث الشمس بالأشعة تحت الحمراء (الحرارية) أيضا ، وموجة هذه الأشعة أطول من موجة الضوء المرئي . ولقد ثبت أن هذه الأشعة ذات الموجات المغناطيسية الكهربائية الأطول من الضوء لا تختلف عن الموجات اللاسلكية ، كما يمكن - فى ظروف خاصة - استقبالها بأجهزة الاستقبال اللاسلكية حيث تتداخل مع الاستقبال المعتاد . ولكن هذا الجزء من اشعاعات الشمس لا يستطيع أن يؤين ذرات الهواء ولذلك فهو لا يؤثر على امتداد الموجات اللاسلكية المرسله من محطات لاسلكية على الأرض .

وقد أظهرت المشاهدات أن الأيونوسفير ليس وسطا متجانسا وأن خواصه تتغير باستمرار ، ويمكن تقسيم الأيونوسفير الى ثلاث طبقات متميزة تفصلها مناطق منخفضة التأين : الأولى منها على ارتفاع حوالى ٨٠ كيلومترا والثانية على ارتفاع حوالى ٢٠٠ كيلومترا والثالثة على ارتفاع حوالى ٤٠٠ كيلو مترا . ويلاحظ أحيانا وجود طبقات أخرى ولكن تأثيرها على الاستقبال اللاسلكى صغير نسبيا فى الظروف العادية . ويرتبط تكوين الأيونوسفير ارتباطا وثيقا بالنشاط الشمسى ، اذ يتجدد تكوين الأيونات الموجية والالكترونات الحرة فى الأيونوسفير باستمرار نتيجة لفعل الاشعاعات الشمسية كما ذكر من قبل ، وتتحد بعض هذه الأيونات والالكترونات ثانية بالاصطدام فى أثناء حركتها العشوائية مكونة ذرات متعادلة . وكلما زاد عدد الذرات المدمرة زاد معدل الاصطدام بين الأيونات المتكونة حديثا والالكترونات . وفى النهاية تصل هاتان العمليتان المتضادتان : التدمير والتجديد الى حالة اتزان لا يحدث بعدها تغير يذكر فى الأيونوسفير .

لا يتعرض الغلاف الجوى للاشعاعات الشمسية فى الليل ، فتتوقف عملية التأين ولكن تستمر عملية انضمام الالكترونات الى الأيونات لتصبح ذرات . ولهذا يقل عدد الأيونات والالكترونات الحرة ، ويزيد معدل هذا النقص بزيادة كثافة الغلاف الجوى ، لأن تصادم الأيونات والالكترونات يزيد فى الطبقات الكثيفة من الجو عليه فى الطبقات المتخلخلة . ولهذا السبب تختفى الطبقة المتأينة التى على ارتفاع ٨٠ كيلو مترا تماما بالليل بينما تظل الطبقتان العلويتان موجودتين ليلا ونهارا ولكن يقل عدد الأيونات والالكترونات الحرة فيهما بالطبع عنه فى النهار ، وتفسر هذه التغيرات التى تحدث فى الأيونوسفير حالة الاستقبال اللاسلكى .

كيف تؤثر حالة الطبقات العليا من الجو على الاستقبال اللاسلكى ؟ الواقع أن الغازات المشبعة بالأيونات والالكترونات الحرة تكتسب خواص جديدة تختلف تماما عن خواص الهواء العادى ، فتصبح موصلة للكهرباء ، ونحن نعرف أن الموصلات تستطيع أن تعكس الموجات المغناطيسية الكهربائية. لهذا تنعكس الموجات اللاسلكية من الأيونوسفير كما يفعل الضوء المرئى مع المرآة ، وبهذه الطريقة يدور حول الأرض . وهذا يجعل الاستقبال اللاسلكى على مسافات بعيدة أقوى بكثير منه لو لم يكن الأيونوسفير موجودا . وفى نفس الوقت تتحرك الالكترونات الحرة فى الأيونوسفير بفعل الموجات اللاسلكية وتمتص بهذا جزءا من طاقتها . وعندما تصطدم هذه الالكترونات المتحركة بذرات الغاز تعطىها هذه الطاقة . وبهذا يفقد جزء من طاقة الموجات اللاسلكية فقدانا نهائيا فى الأيونوسفير .

ويحدث أكبر امتصاص للموجات اللاسلكية الطويلة والمتوسطة في الجزء الأسفل من الأيونوسفير الموجود على ارتفاع أقل من مائة كيلومتر . وبعد الغروب - عندما تختفي الطبقات السفلى من الأيونوسفير - يقل امتصاص الموجات اللاسلكية بشدة مما يزيد من مدى الاستقبال اللاسلكي على الموجات الطويلة والمتوسطة كما يزداد وضوحها .

وقد استخدمت محطات الإذاعة اللاسلكية الأولى الموجات الطويلة التي كانت تتراوح في طولها بين كيلو متر واحد وثلاثة كيلو مترات ، ولكن بزيادة عدد المحطات ، استخدمت الموجات الأقصر ، وقد وجد أن مدى استماع هذه الموجات الأقصر - المعروفة الآن بالموجات المتوسطة - يتغير على مدار اليوم بدرجة أكبر من الموجات الطويلة ، ففي النهار لم تكن المحطات اللاسلكية العاملة على هذه الموجات تسمع إلا على مسافات أقصر نسبيا .

وقد أظهرت المشاهدات بعد ذلك أن الموجات التي يبلغ طولها حوالي ٢٠٠ متر تمتص في الأيونوسفير بدرجة لا تجعلها صالحة للاتصالات البعيدة أو الإذاعة ، بينما الموجات الأقصر تمتص بدرجة أقل من الأيونوسفير لكنها تمتص بدرجة كبيرة في سطح الأرض . ولهذا السبب اعتبرت هذه الموجات في بداية عهد اللاسلكي غير صالحة إطلاقا للارسال إلى مسافات بعيدة . وقد أعطيت هذه الموجات « غير النافعة » لهواة اللاسلكي .

ويمكنك أن تتصور - أيها القارئ - مدى دهشة مهندسى الراديو وعلماء الفيزياء عندما بدأت التقارير ترد مشيرة إلى أن الهواة قد تمكنوا بأجهزة الإرسال منخفضة القدرة التي كانوا يصنعونها بأيديهم - من الاتصال ببعضهم البعض على هذه الموجات « غير النافعة » إلى مسافات بلغت الآلاف بل عشرات الآلاف من الكيلو مترات .

ولقد شك الخبراء في البداية في صحة هذه التقارير ، فقد كانوا في ذلك الوقت مؤمنين تماما بنتائج التجارب التي كانت تؤكد أنه كلما قصر طول الموجة زاد امتصاصها في الأرض وبالتالي يجب أن يكون مدى المحطة العاملة على الموجة القصيرة أقل من مدى محطة الموجة الطويلة بفرض أن قدرة المحطتين واحدة .

ومع ذلك فقد أظهر البحث أن هواة اللاسلكي كانوا صادقين : فقد كان من الممكن الاستماع إلى محطات الموجة القصيرة ذات القدرة المنخفضة على مسافات عدة آلاف من الكيلومترات ، وفي نفس الوقت كان مهندسو اللاسلكي أيضا على حق ، فإن الأرض تمتص الموجات القصيرة بدرجة

أكبر بكثير من الموجات الطويلة ، فكيف يمكن التوفيق بين هاتين الحقيقتين المتضادتين ؟ •

لقد اتضح بعد ذلك أن الموجات القصيرة تمتص بدرجة أقل في الأيونوسفير ولهذا يمكن أن تنعكس منه عدة مرات بدون توهين كبير ، وكننتيجة لهذا يمكن أن تستقبل هذه الموجات على أبعد مسافات ممكنة . ولكن شدة الاستقبال تعتمد على حالة الأيونوسفير اعتمادا كبيرا ، وبالتالي تتغير تغيرا كبيرا على مدار اليوم •

وسنتناول انتشار الموجات المترية في الفصل الخاص بالتليفزيون الذى يعتبر الآن الميدان الرئيسى لاستخدامها ، وتستخدم الموجات الديسمترية والسنتيمترية والمليمترية غالبا في الرادار ومختلف الأبحاث العلمية ولهذا سنتناولها في الفصول المناسبة •

وقد أجريت الأبحاث الأساسية على امتداد الموجات اللاسلكية في ألمانيا على يدى آرنولد سومرفيلد وه • فيل وفي هولندا على يدى ب • فان دربول وه • بريمر وفي الولايات المتحدة على يدى جون ولانجر وفي الهند على يدى س • ك • ميترا وفي إنجلترا على يدى ي • ف • آبلتون وفي الاتحاد السوفيتى على يدى م • ف • شوليكن وم • آ • بونش - بروفيتش وب • آ • فيدنسكى وم • آ • لينتوفيتش وف • آ • فوك ون • آ • شوكن وآخرين •

التليفزيون

تطورت الاذاعة اللاسلكية تطورا سريعا حيث انقضت مستون عاما فقط منذ اختراع الراديو ، كما وان الارسال الاذاعى بدأ منذ حوالى ثلاثين عاما ، ومع ذلك فهناك الكثير من محطات الاذاعة فى الاتحاد السوفيتى وكذلك الملايين من أجهزة الراديو وتركيبات الاذاعة السلكية .

ولعله من الغريب أن نعرف أن ارسال الصور المتحركة بالراديو (أى التليفزيون) قد سبق كثيرا ارسال الصوت ، ففي سنة ١٨٨٤ ، أى قبل اختراع اللاسلكى بعشر سنوات ، اقترح المهندس نيكوف طريقة لارسال الصور الى مسافات بعيدة ، وفى سنة ١٩٠٧ حصل العالم الروسى ب . ل . روزنج على براءة اختراع لنوع من التليفزيون يشترك فى كثير من سماته مع جهاز الاستقبال التليفزيونى الحديث .

ولم يكن ب . ل . روزنج اول من استخدم أنبوب أشعة الكاثود فى التليفزيون فحسب ، بل كان أيضا اول من ارتقى بفكرة اختزان الشحنات فيه .

ومع ذلك لم يدخل التليفزيون فى الحياة اليومية للجماهير الا فى العقد الأخير فقط ، وقد كان ذلك نتيجة للصعوبات الفنية الكبيرة التى واجهها التليفزيون .

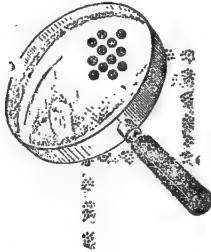
وقد تم الآن التغلب على معظم هذه الصعوبات ، ولكن مازال بعضها يقلق مضجع العلماء والمهندسين الى يومنا هذا .

وسنشرح فى هذا الفصل أساسيات التليفزيون وتصميم أجهزة التليفزيون الحديثة .

صورة من نقط

إذا دقت النظر في أية صورة في صحيفة يومية ترى أنها مكونة من عدد ضخم من النقط الصغيرة .

وترتيب هذه النقط لا يعتمد على محتويات الصورة ، وكذلك المسافة بين النقط لا تتغير في أية منطقة من الصورة . ويسمى مثل هذا الترتيب للنقط تكوين الصورة (شكل ١٠) .



(شكل ١٠) : تكوين من النقط مرتب بنظام صارم .

وبالرغم من أن نقط التكوين تكون مرتبة بنظام دقيق صارم ، إلا أنه يمكن نقل أية صورة بوساطتها ، ذلك لأن نقط التكوين تختلف في حجمها ، فبعضها صغير حتى أنه لا يرى نهائيا والآخر كبير بحيث يتداخل مكونا منطقة سوداء تماما ، وعندما ينظر الانسان الى صورة في صحيفة يومية ، لا تميز العين عادة النقط المنفصلة في التكوين ، بل تكون هذه النقط منظرا عاما مشتركا ، أي صورة متكاملة ، بحيث تمر خطوطها تدريجيا من الأبيض الى الأسود مارة بالدرجات المختلفة للون الأسود .

وكلما زاد عدد النقط الموجودة في السنتيمتر المربع من التكوين زادت جودة الصورة وتفصيلها وأصبحت الدرجات الوسطى للون الأسود أعمق .

وتستخدم أخشن أنواع التكوين في ألواح الاعلانات المضئية التي تتكون من مئات من المصابيح الكهربائية العادية مرتبة في صفوف منتظمة . وتضيء بعض هذه المصابيح بواسطة مفاتيح كهربائية خاصة بحيث تكون حروفا أو كلمات ، ويمكن - بواسطة هذه المفاتيح - أن نجعل هذه الصور تتحرك .

وينظم عمل المفاتيح بحيث تتحرك الحروف المضئية من اليمين الى اليسار(★) ، وتختفي عند نهاية اللوحة بينما تظهر حروف جديدة - مكونة كلمات جديدة - عند الحافة اليمنى وتتبع الأولى ، وبالطبع تظل المصابيح ساكنة بينما تضيء المفاتيح الكهربائية بعضها وتطفئ البعض الآخر حسب الحاجة (★★) ، ولكننا نحصل على الاحساس بالحركة لأن العين تحتفظ بأية صورة لمدة $\frac{1}{8}$ ثانية تقريبا بعد اختفائها . وتسمى هذه الخاصية للعين بمداومة الرؤية .

وتستغل السينما خاصية مداومة الرؤية لخلق الاحساس بالصور المتحركة . فيحتوى الفيلم على كمية كبيرة جدا من الصور المنفصلة تسمى أطرا (واحدتها إطار) مصورة بمعدل ٢٤ صورة في الثانية ، وكل إطار عيار عن صورة لحظية تظهر الجسم المتحرك في وضع جديد يختلف قليلا عن سابقه .

وتعرض هذه الأطر على شاشة دار السينما بنفس السرعة التي صورت بها ، أى بمعدل ٢٤ أطرا في الثانية ، فقبل أن يتلاشى الاحساس بأحد هذه الأطر من العين يكون الإطار التالى قد أضيف اليه ، وبهذا تتداخل الصور المنفصلة في أعيننا وتخلق الاحساس بالحركة المستمرة .

وتعتبر لوحة الاعلانات الكهربائية مثالا لأبسط الوسائل الكهربائية لإنتاج الصور . وهى وسيلة لنقل الصور الى مسافة بعيدة ، لأن المفتاح الذى يتحكم فى تشغيل اللوحة موضوع داخل المبنى ، وتنقل الأسلاك إشارات الى اللوحة خارج المبنى ، ويمكن لمفتاح واحد أن يتحكم فى عدة لوحات توضع فى أماكن مختلفة ، ويمكن - اذا لزم الأمر - أن نجعل اللوحة ترسم صورا بسيطة .

(★) هذا بالنسبة للحروف اللاتينية . أما بالعربية فيجب أن تتحرك من اليسار لليمنى - (المترجم) .

(★★) هناك لوحة من هذا النوع على سطح صحيفة أزمستيا فى ميدان بوشكين موسكو تعمل منذ عدة سنوات .

هذا واحد من أبسط وسائل نقل الصور المتحركة الى مسافة بعيدة، ويمكن أن يظن المرء أن النقل الكهربائي للصور لا يحتاج لأكثر من هذا ، وهذا حق من حيث المبدأ ، ولكن يصاحب التنفيذ العملي لمثل هذه الطريقة فى التليفزيون صعوبات لا يمكن التغلب عليها ، فزيادة نقط تكوين الصورة تعنى زيادة عدد الأسلاك لأنه يجب توصيل كل مصباح على شاشة جهاز الاستقبال بسلك مستقل .

وقد تغلب المخترع الانجليزى ج . ل . بيرد على هذه الصعوبة بابتكار طريقة جديدة للتليفزيون سنة ١٩٢٦ ، اذ اقترح اضاءة مصابيح الصورة الواحد تلو الآخر لمدة قصيرة جدا بدلا من اضاءتها جميعا فى وقت واحد ، وبذلك يتصل كل مصباح بدوره على حدة بالمصدر ، وبهذا يمكن توصيل الشاشة بجهاز الارسال بزوج واحد من الأسلاك .

وبذلك تخلص بيرد من صعوبة تعدد الأسلاك ، ولكن لىواجه صعوبة أخرى ، فبالرغم من أن تلك الشاشة كانت تحتوى على ٢١٠٠ مصباح فقط ؛ أى أن تكوين الصورة كان يحتوى على ٢١٠٠ نقطة فقط (وكان عدد الأطر ١٢٥ اطارا فى الثانية فقط ، فقد كان على المفتاح الكهربائى أن يقوم بعدد من التوصيلات فى الثانية قدره $2100 \times 125 = 26250$. وبهذا كان على بيرد أن يستخدم مفتاحا معقدا جدا حتى أن تشغيله لم يكن مما يعتمد عليه بأى حال .

وكان هذا سببا فى ارتفاع تكاليف طريقة بيرد مما جعلها غير صالحة للتليفزيون . وفى الواقع كان مسرح منوعات الكوليزيوم فى لندن هو المكان الوحيد تقريبا الذى استخدم فيه هذا الجهاز كأحدى نمر الاستعراض ، وبعد ذلك قام جهاز مشابه بجولة فى المسنن الأوروبية الكبرى .

وقد فشلت جميع المحاولات لتحسين هذه الطريقة ، وأصبح من المؤكد استحالة الحصول على تليفزيون على الجودة بوسائل ميكانيكية ، أى باستخدام المفاتيح الكهربائية المعتادة . وقد توصل كثير من المهندسين منذ ذلك الحين - فى ضوء أعمال العالم الروسى روزنجر - الى أن الوسائل الميكانيكية لم تكن الا عثرة فى طريق تطوير التليفزيون .

الفيسفساء العجيبة

اقترح العالم السوفيتي س . ي . كاتاييف فى سنة ١٩٣١ طريقة عملية لاستخدام ظاهرة اختزان الشحنات فى أنبوب ارسال ذى أشعة كاثود . وقد مكن هذا من زيادة حساسية جهاز الارسال التليفزيونى عدة آلاف المرات ، ويمكن اعتبار هذه الطريقة نقطة التحول التى أمكن بعدها تنفيذ فكرة التليفزيون على الجودة .

ويمثل جهاز الارسال فى النظم الحديثة للتليفزيون زواجا سعيدا بين الخلية الضوئية وأنبوب أشعة الكاثود .

والخلية الضوئية أداة خاصة يمكنها تحويل التغيرات فى شدة الضوء الساقط عليها الى ذبذبات كهربائية كما يحول ميكروفون التليفون الصوت الى ذبذبات كهربائية ، وهناك الآن كثير من أنواع الخلايا الضوئية . ويعتمد عمل الخلية الضوئية على مقدرة الضوء على قذف الإلكترونات خارج الأجسام التى يسقط عليها .

وقد قام العالمان الفيزيائيان أ . ستوليتوف وأ . أينشتين بالدور الرئيسى فى تحقيق هذه الظاهرة الكهربائية الضوئية .

ويعتمد التليفزيون أساسا على القانون الرئيسى للتأثير الضوئى ، وطبقا لهذا القانون يتناسب عدد الإلكترونات المنقذفة بواسطة الضوء ، أى قيمة التيار الكهربائى الضوئى طرديا مع شدة الضوء الساقط على الخلية الضوئية ، فكلما زادت شدة الضوء زاد التيار والعكس بالعكس . وتعتبر الخلية الضوئية المفرغة واحدة من أكثر أنواع الخلايا الضوئية شيوعا ، وتسمى هكذا لأن أقطابها موضوعة فى فراغ ، أى فى مكان قد فرغ منه الهواء تماما .

والمادة الفعالة التى تتعرض للضوء فى مثل هذه الخلايا الضوئية هى عادة السيزيوم . وعندما يضاء سطح السيزيوم ، تنقذف منه الإلكترونات ، ولهذا تسمى طبقة السيزيوم كاثود الخلية الضوئية بالقياس على صمام الراديو . ويحتوى غلاف الخلية الضوئية - بالإضافة الى الكاثود - على قطب ثان يسمى الأنود ، ويصنع الأنود عادة على شكل أنشوفة صغيرة من السلك توضع فى مركز الغلاف ، وتخرج الأسلاك الموصلة الى الكاثود والأنود الى خارج الغلاف الزجاجى .

ولتشغيل الخلية الضوئية ، يوصل الأنود بالقطب الموجب فى منبع التغذية الكهربائية والكاثود بالقطب السالب . فإذا لم يكن هناك ضوء

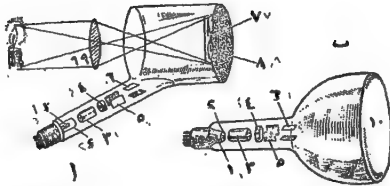
ساقط على الخلية الضوئية لا يمر تيار في الدائرة المكونة منها ومن منبع التغذية . أما إذا سقط ضوء على طبقة السيزيوم ، فإن بعض الالكترونات تترك كاثود الخلية الضوئية وتظهر الى الأنود بفعل الفلطية الموجبة المسلطة عليه ، فيمر تيار كهربائي في الدائرة . وتناسب شدة هذا التيار مع شدة الضوء الساقط على الخلية الضوئية ، ويتبع التيار المار في الخلية الضوئية كل التغيرات التي تحدث في شدة الضوء ، تماما كما يتبع التيار المار في الميكروفون كل التغيرات في الصوت الساقط عليه ، ويشبه غلاف الخلية الضوئية العادية غلاف المصباح المتوهج .

وأنبوب كاميرا التلفزيون أعقد بكثير من ذلك ولكنه مبني أيضا على تطبيق التأثير الكهربائي الضوئي . ويصنع أنبوب الكاميرا ذو الشحنة المختزنة على شكل بصيلة رقيقة من الزجاج ذات رقبة اسطوانية طويلة رفيعة ، ويحتوي الجزء المتسع على العنصر الرئيسي في الأنبوب ، ذلك الذي يسمى الفسفيساء والذي يعمل ككاثود لهذه الخلية الضوئية المعقدة .

ويصنع الكاثود الضوئي ذو الفسفيساء من لوح رقيق من الميكا ناعم تماما ومتجانس . ويغطي أحد جانبيه بطبقة رقيقة من معدن بينما يغطي الآخر - وهو الجانب الفعال من لوح الميكا - بما يزيد على مليون كرية ميكروسكوبية من الفضة المشبعة بالسيزيوم ، وتمثل هذه الكريات التي تزيد على المليون أكثر من مليون خلية ضوئية دقيقة مستقلة تصنع في مجموعها تكوينا دقيقا للصورة . وهذه الكريات الفضية هي الكاثودات بالنسبة لهذه الخلايا الضوئية المستقلة ، بينما تكون الطبقة المعدنية التي تغطي السطح الداخلي للبصيلة الزجاجية أنودا مشتركا لها وتغطي هذه الطبقة المعدنية السطح الداخلي للبصيلة بأكمله بحيث لا تترك سوى نافذة واحدة يسقط خلالها ضوء الصورة المراد إرسالها على الفسفيساء (شكل ١١) .

وتستقبل الخلايا الضوئية المنفصلة المكونة لنقط هذه الفسفيساء الضوء الذي يسقط عليها من نقط الصورة المختلفة ، حيث تعكس الأجزاء المعتمدة منها ضوءا أقل مما تفعل الأجزاء المنيرة ، وبهذا يختلف تيار الخلايا الضوئية المختلفة ، فتولد الأجزاء المنيرة من الصورة تيارات كبيرة ، بينما تولد تلك المعتمدة تيارات صغيرة ، وبهذا « تترجم » « لغة » الضوء والظل الى لغة التيارات الكهربائية الكبيرة والصغيرة .

وبعد أن أمكن حل مشكلة إيجاد تكوين حساس للضوء ، ابتكر المهندسون نظاما لا يقل براعة لتوصيل هذه الملايين من الخلايا الضوئية الميكروسكوبية أوتوماتيكيا وبطريقة يمكن الاعتماد عليها الواحدة بعد



- (شكل ١١) : ١ - أنبوب كاميرا تليفزيوني ب - أنبوب الصورة التليفزيوني
 ٢ - كاثود مسخن بتيار كهربائي ٧ - الكاثود الضوئي ذو الفسفور
 ٣ - قطب التحكم ٨ - الطبقة المعدنية التي تعمل ككاثود مشترك لجميع الخلايا الضوئية في الفسفور
 ٤ - القطب الثاني المستخدم في تركيز الإلكترونات ٩ - العدسة
 ٥ - ألواح الانحراف الأفقي ١٠ - شاشة عليها طلاء حساس للضوء
 ٦ - ألواح الانحراف الرأسي تكون عليه الصورة المرئية .

الأخرى بجهاز الإرسال التليفزيوني ، وبالطبع لم يكن هذا مجال المفاتيح الكهربائية الميكانيكية ، بل تم توصيل الخلايا الضوئية بجهاز الإرسال بالاستعانة بشعاع رفيع جدا من الإلكترونات عالية السرعة .

يوضع في نهاية رقبة البصيلة الزجاجية الاسطوانية الطويلة أداة تسمى مدفع الإلكترونات ويتكون مدفع الإلكترونات هذا من كاثود يسخن كهربائيا يشبه الى حد ما ذلك الموجود في الصمام الإلكتروني المتداد ، ويوضع هذا الكاثود داخل قطب اسطواني يعمل على تركيز الإلكترونات المنبعثة منه في حزمة رفيعة ، ويزود هذا القطب بفلطية سالبة ، فتتأخر الإلكترونات - وهي دقائق مشحونة بشحنات سالبة - مع هذا القطب مما يجعلها تطير في حزمة ضيقة تقع في محور الاسطوانة تقريبا .

وعندما تغادر الإلكترونات الكاثود تكون سرعتها منخفضة نسبيا ، ولكنها تتسارع كثيرا نتيجة لتجاذبها مع الأنود المشحون بجهد موجب عال . ويصنع هذا الأنود على شكل أنبوب معدني يحتوي على غشاء به ثقب مستدير في الوسط ، وتمر الإلكترونات خلال فتحة الغشاء وتستمر في طيرانها في حزمة ما زالت أضيق مما كانت عندما غادرت الكاثود .

وبهذا يطير شعاع ضيق من الإلكترونات عالية السرعة خارج المدفع الإلكتروني ، ويوجه هذا الشعاع الى مركز التكوين الكهربائي الضوئي ، ولكنه يمر في طريقه بزوجين من الألواح المعدنية المتوازية أحدهما أفقي

والآخر رأسى ، وينجذب شعاع الالكترونات الى أحد لوحى الزوج الأول بينما يتنافر فى نفس الوقت مع الآخر بتأثير الفلطية المسلطة على ذلك الزوج من الألواح ، وبهذا ينحرف الشعاع رأسيا ، كما يحرف الزوج الثانى من الألواح الشعاع أفقيا .

وتغذى ألواح الانحراف فى أجهزة الاستقبال التليفزيونى الحديث بالفلطيات من مولدات خاصة تسمى مولدات المسح ، وتجعل هذه المولدات شعاع الالكترونات يتحرك من أعلى فسيفساء الخلية الضوئية الى أسفلها ٢٥ مرة فى الثانية بينما ينحرف أفقيا أسرع من ذلك بمقدار ٦٢٥ مرة (★) .

ونتيجة لهذا يقسم الشعاع الالكترونى سطح التكوين الكهربائى الضوئى بأكمله الى ٦٢٥ خطا ، بينما يسمح كل نقطة على التكوين ٢٥ مرة فى الثانية (★★) .

ويتحرك شعاع الالكترونات بفعل الفلطية المسلطة على ألواح الانحراف الأفقى بسرعة ثابتة مبتدئا من الركن العلوى الأيسر للفيسيفساء الكهربائى الضوئى ، ولكن خط حركته لا يكون أفقيا تماما ، وهذا نتيجة لأن الشعاع ينحرف فى نفس الوقت من أعلى الى أسفل بتأثير ألواح الانحراف الرأسى ، وبهذا ينخفض الشعاع بمقدار $\frac{1}{625}$ من ارتفاع الفيسيفساء عندما يصل الحافة اليمنى ، وبمجرد أن يصل الشعاع الى الحافة اليمنى ، يعود فى نفس اللحظة الى الحافة اليسرى من الفيسيفساء ، ويكون الارتداد من السرعة بحيث يكون الانحراف الرأسى للشعاع تأفها جدا ، وهذا الارتداد جزء غير فعال من عملية المسح ، وحتى لا تتشوه الصورة ، يقطع الشعاع أثناء الارتداد بواسطة دائرة خاصة .

وبمجرد أن يصل الشعاع الى الحافة اليسرى للفيسيفساء ، يعود الشعاع الالكترونى ثانية ، ويبدأ فى مسح الخط التالى ، وهو بدوره بمقدار $\frac{1}{625}$

(★) شرحنا هنا الأنبوب ذى الانحراف الاستاتيكي للتبسيط ، وهناك أيضا كثير من الأنابيب التى لا تحوى على ألواح انحراف . وفى مثل هذه الأنابيب ، ينحرف الشعاع بواسطة قوى مغناطيسية تؤثر على الالكترونات الطائرة . ويحصل على القوى المغناطيسية اللازمة بواسطة ملفات خاصة بالتيار الكهربائى من مولدات المسح .

(★★) تقسيم الصورة الى ٦٢٥ خطا هو أكثر النظم الحديثة شيوعا ، وتستخدم المحطات الأمريكية ٥٢٥ خطا بينما تحتفظ المحطات البريطانية - التى كانت من أوائل من بدأ الإرسال التليفزيونى - بنظام ال ٤٠٥ خطوط ، وتستخدم معظم المحطات الأوربية ال ٦٢٥ خطا بينما تستخدم المحطات الفرنسية نظاما يقسم الصورة الى ٨١٩ خطا .

من ارتفاع الفسفيساء أى يكون موازيا للخط الأول ، وبالاتمرار فى هذا يمسح الشعاع الالكترونى مسطح الفسفيساء بأكمله خطا بخط ، وعندما يصل الى الحافة اليمنى فى الحط الأخير ، يرتد فورا الى الركن العلوى الأيسر ويبدأ من جديد فى مسح الاطار التالى .

وأثناء مرور الشعاع الالكترونى على خلايا التكوين الضوئية ، يوصلها حيثما وجد - بالدائرة الكهربائية الواحدة تلو الأخرى ، ونمى كل مرة يتغير التيار المار فى الدائرة ، ويكون هذا التغير أكبر كلما كان الفرق بين اضاءة أجزاء الصورة الساقطة على الخلايا الضوئية كبيرا ، والنتيجة أن تظهر فى الدائرة ذبذبات كهربائية تناظر اختلاف اضاءة الأجزاء المختلفة للصورة المراد ارسالها .

وأنبوب الارسال التليفزيونى أكثر حساسية بكثير من الخلايا الضوئية العادية . والسبب فى ذلك أن كلا من الخلايا الضوئية المستقلة التى تكون للفسفيساء تتصل بالدائرة الكهربائية لفترة صغيرة جدا من الوقت ، وهو ذلك الوقت الذى يستغرقه الشعاع فى المرور عليها ، بينما تظل خارج الدائرة باقى الوقت ، ولكن الضوء يستمر فى السقوط عليها طول الوقت ، وتنقذ الالكترونات من كل خلية من خلايا الفسفيساء بفعل هذا الضوء ، وبفقد هذه الالكترونات تكتسب الكريات الفضية التى تعمل ككاثودات للخلايا الضوئية شحنات موجبة ، وتفرغ هذه الشحنات التى تتراكم خلال مدة ارسال الاطار فى وقت قصير جدا عندما يمر شعاع الالكترونات على سطح الكرية ، ويزيد هذا التيار اللحظى كثيرا على متوسط التيار الكهربائى الضوئى الذى تولده الخلية نتيجة للضوء الساقط عليها . وهذه هى فكرة اختزان الشحنة التى اقترحها العالم الروسى ب . ل . روزنيج وحققها العالم السوفيتى س . س . كاتاييف .

ولارسال الصور باللاسلكى ، يتصل أنبوب الكاميرا - عن طريق مكبرات اضافية - بجهاز الارسال اللاسلكى بحيث تشكل الموجات اللاسلكية بنفس الطريقة التى يشكلها بها الميكروفون فى الارسال الصوتى .

وبهذا يرسل فى الهواء ٢٥ صورة كاملة - أو اطارا - يتكون كل منها من ٦٢٥ خطا كل ثانية .

وصور التليفزيون أحسن بكثير من صور الصحف ولا تقل كثيرا عن الصور الفوتوغرافية العادية من حيث الوضوح وغزارة الدرجات الوسطى للألوان .

وفى أجهزة التليفزيون الحديثة ، يكون نظام المسح أعقد نوعا ما مما ذكر ، وهذا نتيجة لأنه بالرغم من ارسال الصور بمعدل ٢٥ اطارا فى الثانية الا أن الصورة تعاني من ارتعاش واضح ، ويمكن ازالة هذا الارتعاش اذا ارسلنا ٥٠ اطارا فى الثانية بدلا من ٢٥ ، ولكن هذا يعنى مضاعفة نطاق الترددات اللازم لارسال الصورة .

ويمكن ازالة الارتعاش الذى يضايق الراى باتباع طريقة عبقريّة لا تتطلب معدات أعقد كثيرا من سابقتها . وتسمى هذه الطريقة طريقة المسح المتشابك . وفى هذه الطريقة يرسل ٢٥ اطارا يحتوى كل منها على ٦٢٥ خطا أيضا ، ولكن ترسل كل الخطوط الفردية أولا ثم الخطوط الزوجية وهكذا . ففى $\frac{1}{2}$ من الثانية تغطى الصورة كلها بتكوين يتألف من ٣١٣ خطا (أو $\frac{1}{4}$ ٣١٢ خطا بالضبط) وبعد ذلك يزحزح التكوين بمقدار خط واحد ثم ترسل باقى أجزاء الصورة فى $\frac{1}{2}$ من الثانية التالى .

والنتيجة أن ترسل ٥٠ اطارا فى الثانية ، كل منها أكثر خشونة من الحالة الأولى ، وبهذا نتخلص نهائيا من الارتعاش بينما يظل وضوح الصورة كما هو بالطبع ، أى بما يناظر ٢٥ اطارا كل منها ذو ٦٢٥ خطا .

وبالإضافة الى هذا النوع من الأنابيب الذى شرحناه فيما سبق ، تستخدم أجهزة الارسال التليفزيونية الحديثة أنواعا أخرى من أنابيب الكاميرات . فمثلا هناك أنبوب بسيط جدا يستخدم فى ارسال الأفلام السينمائية ، ويستخدم هذا الأنبوب شعيرة واحدة رقيقة من مادة حساسة للضوء بدلا من فسيفساء من الكاثودات الضوئية . وقد أمكن هذا التبسيط نتيجة لحركة الفيلم ، اذ يمرور الفيلم باستمرار أمام الشعيرة الحساسة للضوء ، يولد بنفسه حركة المسح الرأسى ، فليس هناك حاجة اذن للمسح الأطارى ، ولا يلزم سوى دائرة الكترونية لتوليد المسح الخطى بطول الشعيرة الحساسة للضوء .

وسيستخدم نظام أبسط من هذا أيضا لارسال الأفلام فى مركز التليفزيون المنشأ حديثا فى موسكو وتستعمل فيه الخلايا الضوئية المعتادة . وفى هذا النظام يمر الفيلم بين خلية ضوئية بسيطة وأنبوب أشعة كاثودى عادى ، ويتحرك الشعاع الالكترونى فى هذا الأنبوب أفقيا

فقط ، أى بطول الخطوط ، وبمعدل ٦٢٥ خطا كل $\frac{1}{25}$ من الثانية . وبالتالى ينقسم كل اطار الى ٦٢٥ خطا ، وفى هذه الحالة تتحرك بقعة من الضوء عبر شاشة الأنبوب مكونة خطا متوهجا ، ويمر هذا الضوء

خلال الفيلم ويسقط على الخلية الضوئية وتنفذ شدة الضوء المار في الفيلم حسب الأضواء والظلال الموجودة في الإطار المرسل . وفي هذه الحالة يعتمد وضوح الصورة على أبعاد البقعة الضوئية المتحركة على شاشة أنبوب أشعة الكاثود ، وهذا يعنى إمكانية الحصول على وضوح أكبر مما هو فى النظم الحالية .

وللإرسال من داخل المباني مثل المسارح والمتاحف والمصانع ، وكذلك فى - الإذاعات الخارجية التي قد لا تكون دائما جيدة الاضاءة ، تستخدم أنابيب تصوير ذات حساسية عالية بصفة خاصة اذ يتم التحويل الالكترونى للصورة بواسطة التضاعف الثانوى .

قريب وبعيد

بعد أن عرفنا طرق تحويل الصور الى اشارات كهربائية ، نجد أن المشكلة التالية هى تقل هذه الاشارات الى مسافات بعيدة .

وهذه المشكلة فى الواقع مشكلة معقدة لأن الذبذبات الكهربائية الموجودة فى الإرسال التليفزيونى معقدة جدا كما أظهرت الحسابات والقياسات ، وهى تمثل - بحالتها الطبيعية - مجموعة من عدد كبير من الذبذبات المستقلة ذات الترددات المختلفة ، وتغطى ترددات هذه الذبذبات نطاقا يمتد من عدة عشرات الذبذبات فى الثانية الى ستة ملايين ذبذبة فى الثانية . نذكر - على سبيل المقارنة - أن نطاقا أضيق بعدة مرات من هذا - من ٤٠ الى ١٠٠٠٠ ذ/ث - يستخدم لإرسال الصوت .

ويعتبر إرسال ذلك النطاق الواسع من الترددات اللازم للتليفزيون مستحيلا لا على الموجات الطويلة والمتوسطة فحسب بل والقصيرة أيضا . اذ يجب أن يكون تردد الموجات اللاسلكية أكبر بمقدار ١٠ الى ٢٠ مرة على الأقل من أعلى تردد يراد إرساله اذا أريد ألا تتشوه الصورة . ولهذا لا يمكن إرسال الإذاعات التليفزيونية عالية الجودة الا على الموجات القصيرة جدا التي لا تتجاوز أطوالها ٧٥ مترا .

وقد تزايد استخدام الموجات القصيرة جدا بعد ذلك فى الإذاعات اللاسلكية عالية الجودة ، اذ يمكن نطاق الموجات القصيرة جدا من إرسال الصوت بشكل أكثر طبيعية لأنه يمكن من زيادة نطاق الترددات المخصص لكل محطة نسبيا ، وبالإضافة الى ذلك ، فهذا النطاق أكثر من النطاقات

الأخرى خلوا من التداخل الجوى والصناعى ، ولهذا تزود معظم أجهزة الراديو عالية الجودة الحديثة بنطاق للموجات القصيرة جدا أى ترددات عالية جدا (ت . ع . ج) .

وتجبرنا حاجتنا الى استخدام الموجات القصيرة جدا فى التليفزيون والاذاعة عالية الجودة على أن ندخل فى اعتبارنا خواص هذه الموجات . فالموجات القصيرة جدا لا تدور حول سطح الأرض كما تفعل الموجات الطويلة ، كما وأنها لا تنعكس من الأيونوسفير فى الظروف العادية كما تفعل الموجات القصيرة : (★) . والنتيجة أنها تمتد فى المدى البصرى فقط . كموجات الضوء تماما (★★) .

ومن هذا نرى أن مدى محطات ارسال الموجات القصيرة جدا محدود . فعلى الرغم من أن هوائيات أجهزة ارسال التليفزيون تقام عادة على أبراج عالية (مثل برج شوخوف فى موسكو الذى يبلغ ارتفاعه ١٥٠ مترا) أو على قمم ناطحات السحاب كما فى نيويورك ، يكون مدى محطات الارسال عادة محدودا بحوالى ٧٠ كيلو مترا (شكل ١٢) .

ويمكن هوائيات الاستقبال الخاصة المقامة على صوار عالية من زيادة مدى الاستقبال الواضح . فمثلا يصل مدى الاستقبال الواضح لمركز تليفزيون موسكو بالنسبة لهواة اللاسلكى الذين يستعملون مثل هذه الهوائيات الى ١٢٠ كيلو مترا .

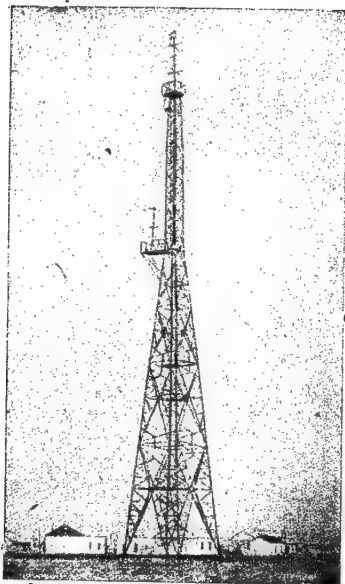
ومع ذلك فقد عرفت حالات يستقبل فيها التليفزيون على مسافات أبعد بكثير ، وقد تمكن من هذا - أساسا - بعض هواة اللاسلكى الذين يعيشون بعيدا عن مراكز التليفزيون وذلك باستخدام هوائيات معقدة وعالية وأجهزة استقبال ذات حساسية عالية تستخدم مكبرات اضافية .

وهناك حالات معروفة تستقبل فيها الاذاعات بانتظام وبدرجة جيدة على مسافات تصل الى ٤٠٠ كيلو مترا وأحيانا الى ما يزيد على ١٠٠٠ كيلو مترا ، فمثلا هناك حالات قياسية تستقبل فيها محطات هولندية وإيطالية وتشيكية وألمانية بانتظام فى الاتحاد السوفيتى وكذلك الاذاعات السوفييتية فى بلجيكا وهولندا وسويسرا وإيطاليا (★) .

(★) لزيادة الايضاح عن الأيونوسفير انظر الفصل الأول .

(★★) تضمحل الموجات القصيرة جدا بسرعة وراء المدى البصرى .

(★) . وكذلك من المعروف أن اذاعات جمهورية مصر العربية تستقبل طوال الصيف فى لبنان وسوريا الى أقصى شمالها بدرجة كبيرة من الوضوح كما وأن بعض الهواة بجمهورية مصر العربية يستقبلون اذاعات لبنان وسوريا والسعودية وإيطاليا والاتحاد السوفيتى خلال فترات معينة فى أشهر الصيف - (المترجم) .



(شکل ۱۲) : هوائی محطه ارسال تلیزیونی "

وقد خلقت هذه الحالات - التي سجلها هواة اللاسلكى - دافعا جديدا لعلم امتداد الموجات اللاسلكية ، فقد اكتشف الهواة مرة أخرى ظاهرة جديدة هامة تماما كما أثبتوا فى أوائل العشرينات من هذا القرن إمكانية إجراء اتصال لاسلكى عبر آلاف الكيلو مترات عن طريق الموجات القصيرة جدا ، والواقع أن العاملين على الرادار ذى الموجات المترية كانوا قد لاحظوا شيئا مشابها (انظر الفصل الثالث) ولكنها كانت حالات فردية كما وإنما لم تلاحظ الا على سطح البحر ، واتضح انها حالات انكسار كلي للموجات اللاسلكية فى الجو ، مثل الانكسار الكلى البصرى الذى يسبب السراب ، وبالطبع لا يمكن اعتبار ظاهرة الانكسار الكلى النادرة نسبيا أساسا للاتصال اللاسلكى بعيد المدى .

وقد جذب امتداد الموجات اللاسلكية القصيرة جدا الى مسافات بعيدة - والذى تزايدت ملاحظة هواة اللاسلكى له - انتباه العلماء حتى أصبح موضوعا للبحث المنظم .

وقد اتضح أن الحالات المتزايدة للاستقبال التليفزيونى الى مسافات تصل الى عدة آلاف من الكيلو مترات وكذلك الاتصال بين الهواة على مسافات تصل الى ثلاثة أو أربعة آلاف كيلو مترا بأجهزة ارسال منخفضة القدرة لم تكن نتيجة للتحسين فى الأجهزة والمهارة فحسب ، بل ان هناك علاقة وثيقة بين حدوث هذه الظواهر واقتراب قمة النشاط الشمسى .

ولقد لوحظ أن النشاط المتزايد للشمس يرفع من درجة التأين فى الأيونوسفير حتى أن الموجات المترية - التى تمر عادة خلاله الى خارج الغلاف الجوى للأرض - تنعكس أيضا عنه ، ويصاحب هذا عادة ارتفاع عشوائى محلى فى تأين الغلاف الجوى مما قد يسبب تغيرات كبيرة - فى الحالات المواتية - فى ظروف انتشار الموجات القصيرة جدا فى مسار معين .

ويفسر هذا كله عدم الاستقرار المميز لامتداد الموجات القصيرة جدا الى مسافات كبيرة . ويلاحظ هذا الامتداد الى مسافات بعيدة فى الصيف أكثر منه فى الشتاء . ويزيد احتمال هذا الامتداد مع زيادة النشاط الشمسى ولهذا يتغير دوريا طبقا لدورة الأحد عشر عاما للشمس .

وقد لوحظ أثناء التجارب على الاستقبال التليفزيونى على مسافة بعيدة تحسن فجائى فى الاستقبال يدوم لدقيقتين أو ثلاث ثم يعود الاستقبال الى ما كان عليه . وتحدث هذه الزيادة فى شدة الإشارة نتيجة لانعكاس الموجات القصيرة جدا على آثار الشهب . وقد استغلت هذه

الظاهرة الهامة فى تطوير نظام جديد للاتصالات يضمن درجة عالية من السرية وسنعود اليه فى الفصل الرابع .

ولنقل الاشارات التليفزيونية لمسافات بعيدة ، وكذلك لربط المدن الكبرى - بالاتصالات التليفونية والتلغرافية ، استخدمت خطوط سلكية تستخدم انواعا خاصة من كابلات الترددات العالية التى يمكنها أن تنقل الاشارات ذات النطاق المتسع من الترددات مثل اشارات جهاز الارسال التليفزيونى . ومع ذلك فالكابلات المتحدة المحور عيب خطير ، اذ تضعف الموجات اللاسلكية المارة فى كابل متحد المحور بسرعة . ولهذا يجب قطع الكابل على مسافات تتراوح بين ٢٠ و ٣٠ كيلو مترا لادخال صمامات مكبرة لتغذية الاشارات المكبرة الى القسم التالى .

وبالاضافة الى الكابلات المتحدة المحور ، تستخدم خطوط المتابعة اللاسلكية سواء للاتصالات أو الاذاعات التليفزيونية . وتتكون الخطوط من سلسلة من محطات استقبال وارسال تعمل على الموجات السنتيمترية موضوعة فى أبراج عالية (شكل ١٣) . ويمكن أن تكون هذه المحطات منخفضة القدرة جدا لانها مزودة بهوائيات عالية الموجهية . فمثلا يصل مدى جهاز ارسال قدرته وات واحد وموضوع على برج ارتفاعه ١٠٠ متر الى حوالى ٧٠ - ١٠٠ كيلو مترا حسب طبيعة الأرض . وتعتبر خطوط المتابعة اللاسلكية وسيلة متقدمة للاتصالات ، لهذا مستتضاعف المسافة الكلية لخطوط المتابعة اللاسلكية فى البلاد ست مرات فى خطة السنوات السبع القادمة .

وتعتبر زيادة المسافات بين محطات خطوط المتابعة اللاسلكية من الأفكار الجذابة جدا من الناحية الفنية ، اذ أن بناء هذه المحطات وتشغيلها فى الأماكن البعيدة الخالية من السكان على التكاليف نسبيا . وقد أظهر البحث فى ظاهرة الاستقبال التليفزيونى من مسافات بعيدة والتى اكتشفها هواة اللاسلكى أن مثل هذا الاستقبال ممكن جدا .

وقد وجد أن امتداد الموجات المترية الى مسافات كبيرة بدرجة غير عادية كان نتيجة لانتشارها فى الأيونوسفير بسبب الاضطرابات العشوائية . وتزيد هذه الاضطرابات كثيرا فى أشهر الصيف وعلى وجه الخصوص فى فترات النشاط الشمسى الزائد ، وهذا يفسر عسدا كبيرا من حالات الاستقبال التليفزيونى على مسافات وصلت الى ٢٠٠٠ كيلو مترا ، ولكن هذا بالطبع لا يمكن استخدامه كأساس لانشاء خطوط اتصالات ثابتة ، ولكن أظهرت المشاهدات أن الموجات اللاسلكية السنتيمترية تنتشر أيضا بسبب الاضطرابات العشوائية ، ولكنها اضطرابات ذات طبيعة مختلفة

كما انها ليست فى الايونوسفير وانما فى التروبوسفير ، الطبقة الأسفل من الايونوسفير فى جو الأرض وبالتالي الأكثر كثافة .

وتنتج الاضطرابات فى التروبوسفير من تكون الدوامات التى تعرض الضغط فى المناطق المختلفة من التروبوسفير - وبالتالي الكثافة - لتغيرات عشوائية صغيرة ، مثلما تفعل الرياح العادية . وتسبب هذه التغيرات فى الكثافة انتشارا للموجات اللاسلكية السنتيمترية بطريقة تشبه انتشار الضوء نتيجة لنقط الضباب . ومع ذلك فهناك فرق رئيسى بين هذا وذاك ، فان نقط الضباب - نظرا لانها أكثر من الهواء - تنشر الضوء بانتظام فى كل الجهات تقريبا ، أما الدوامات فى التروبوسفير فتغير الكثافة تغيرا طفيفا ولهذا تنشر الموجات اللاسلكية بطريقة مختلفة . فاذا شع هوائى محطة لاسلكية شعاعا ضيقا من الموجات اللاسلكية ، فان الانتشار نتيجة لاضطرابات التروبوسفير يزداد من عرض هذا الشعاع . ونتيجة لذلك فان بعض الموجات اللاسلكية المنتشرة تصل الى سطح الأرض فى أماكن وراء الأفق بكثير ، بالرغم من أن الشعاع الأصل للموجات اللاسلكية يستمر فى طريقه الى الفضاء .

وبالطبع سيستقبل هوائى الاستقبال الموضوع على مسافة ٣٠٠ أو ٤٠٠ كيلو مترا من محطة الارسل جزءا صغيرا من الطاقة المشعة ، ولكن المهم هنا أن هذا الجزء مستقر بدرجة ملحوظة . وهذا يعنى امكانية استخدامه فى الاتصالات المنتظمة . وقد أظهرت الأبحاث أن الطبيعة العشوائية الاستثنائية لهذا الانتشار كما يقول الفيزيائيون هى التى تضمن استقراره ، تماما كما تجعل التغيرات العشوائية فى كثافة الهواء السماء تبدو زرقاء ، ولكن بينما يمكن للسحاب - عن طريق حجب الطبقات العليا من الغلاف الجوى وانتشار الضوء الأبيض على دقائقها - أن يخفى زرقة السماء ، فانه لا يستطيع إيقاف الموجات اللاسلكية المتفرقة وقطع هذا النوع الجديد من الاتصالات .

وباستغلال ظاهرة انتشار الموجات السنتيمترية نتيجة لاضطرابات الموجودة فى التروبوسفير يمكن انشاء خطوط متابعة لاسلكية تصل المسافة بين محطاتها الى ٣٠٠ أو ٤٠٠ كيلو مترا غانمين بذلك اقتصادا كبيرا فى النفقات وحاصلين على اتصالات لاسلكية واذاعات تليفزيونية عالية الجودة فى اقصى أطراف البلاد .

وقد اقترح - فى السنين الأخيرة - عدد من الطرق لزيادة مدى الارسل التليفزيونى أكثر من ذلك .

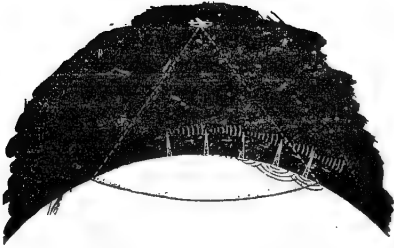
وقد أظهر الاقتصاديون - بالأرقام - أنه من الأرجح في بعض الأحيان رفع جهاز الإرسال التليفزيوني في هليكوبتر أو طائرة تطير في دائرة صغيرة على ارتفاع كبير بدلا من مد الكابلات أو بناء خطوط المتابعة اللاسلكية ، اذ يصل مدى جهاز الإرسال التليفزيوني الموضوع في هليكوبتر يطير على ارتفاع عشرة كيلو مترات - بدون اعتبار الانكسار في الموجات - الى ٥٧٥ كيلو مترا ، بينما يصل الى ٨٠٠ كيلو مترا اذا كانت الطائرة على ارتفاع ٢٠ كيلو مترا فإذا أدخلنا انكسار الموجات في الاعتبار يزيد المدى على ذلك بمقدار ٢٠ الى ٢٥٪ . ويمكن - هندسيا - عمل معدات من هذا النوع بحيث تكون أوتوماتيكية تماما ، فتتم جميع العمليات المطلوبة لتشغيل المحطة بما فيها اقلاع الطائرة وطيرانها وهبوطها وتشغيل جهاز الإرسال بدون انسان . وقد حدث أثناء إحدى التجارب على الإرسال من طائرة تطير على ارتفاع ستة كيلومترات فوق ستوكهولم أن شوهت الإذاعة بوضوح على بعد ٥٠٠ كيلومترا .

ويقوم الاتحاد السوفيتي وكثير من البلاد الأخرى باستبدال الكابلات المتحدة المحور المستعملة في الاتصالات بعيدة المدى بأنابيب مجوفة تسمى الدلائل الموجية . فقد أظهرت الحسابات والتجارب أن أنواعا معينة من الموجات السنتيمترية والموجات الملليمترية بالذات لا تضعف كثيرا أثناء انتقالها في أنابيب مستديرة ، وهناك ظاهرة مشابهة في الصوتيات ، اذ تستخدم أنابيب الكلام من أقدم العصور الى يومنا هذا لنقل الصوت بلا مجهود من غرفة القبطان على سطح السفينة الى غرفة الآلات أو من طرف مبنى الى الطرف الآخر .

ولا تحتاج خطوط الاتصالات الطويلة ذات الدلائل الموجية - نتيجة للتوهين القليل في شدة الإشارة - الا الى عدد قليل من المكبرات بالنسبة لخطوط الكابلات الحديثة ، وبهذا تكبر المسافات بين المكبرات مما يمكن من وضعها في الأماكن الآهلة بالسكان وبهذا تنخفض تكاليف انشاء هذه الخطوط وتشغيلها .

وتسمح قلة تكاليف خطوط الدلائل الموجية وارتفاع العزل عليها بمنافسة خطوط المتابعة اللاسلكية بنجاح لأن خطوط المتابعة اللاسلكية المعتادة التي تفصل محطاتها مسافة تصل الى ٧٠ كيلومترا غالية التكاليف بينما تقل سعة الجديد منها الذي يستخدم انتشار الاشعاع عن سعة خطوط الموجات بعدة عشرات من المرات .

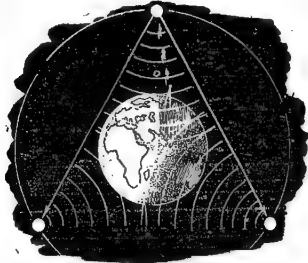
وستختبر - في السنين القليلة القادمة - وسيلة جديدة لزيادة



(شكل ١٣) : الارسال التليفزيونى للمحطة العادية مدى يصل الى حوال ٧٠ كيلومترا ،
بينما يمكن ان يصل مدى محطة ارسال تليفزيونية فى طائرة الى مايزيد على ٨٠٠ كيلومترا .

مجال تغطية الارسال التليفزيونى ، وهى استخدام الأقمار الصناعية لهذا
الغرض (شكل ١٤) (★) .

١ هذا ولقد أظهرت الحسابات أنه اذا وصل قمر صناعى الى ارتفاع
٣٥٠٠٠ كيلو مترا فانه يدور حول الأرض مرة كل ٢٤ ساعة وهذا يعنى .



(شكل ١٤) : الرسم التخطيطى لنظام تليفزيونى يستخدم الأقمار الصناعية .

(★) كتب هذا الكتاب من سنوا ت . وقد تمت بالفعل تجربة الأقمار الصناعية فى
الارسال التليفزيونى فى التلستار والطائر المبكر وما أشبهه - (المترجم) .

أنه إذا أطلق مثل هذا القمر من مستوى خط الاستواء ، يتعلق بلا حركة فوق نقطة ثابتة من الأرض ، ولكن هذا القمر الصناعي « الساكن » لن يثبت بالفعل في مكان واحد بل سيدور ببطء حول الأرض - نتيجة لأنها ليست كرة كاملة - بحيث يتحرك درجة واحدة تقريبا كل أسبوع .

مثل هذه الحركة النسبية البطيئة لا تؤثر على الإرسال ، ولكن القمر الذي كان في البداية في السميت (متعامدا فوق الرؤوس) يختفي بعد سنتين تقريبا وراء الأفق ، فإذا أردنا تشغيلها لهذا النظام يجب أن نطلق ثلاثة أقمار صناعية واحدا كل ثماني ساعات ، وكما يظهر من الرسم يمكن رؤية واحد منها على الأقل من أية نقطة على الأرض ، فإذا أرسل أحد هذه الأقمار إشاراته إلى الآخرين فإن هذا يحل - من حيث المبدأ - مشكلة إذاعة برنامج معين على جميع نقاط الأرض في وقت واحد .

عود إلى الصورة

يلتقط هوائي جهاز الاستقبال التليفزيوني العامل على الموجات القصيرة جدا الموجات اللاسلكية التي تحمل إشارات الصورة ، وهذا الجهاز يختلف عن جهاز الاستقبال الإذاعي العادي لا في أنه يعمل على الموجات القصيرة جدا فحسب ، بل أيضا في أنه يستطيع إمرار كل نطاق الترددات اللازم لإعادة إنتاج الصورة بلا تشويه .

ويقوم جهاز الاستقبال بكشف الموجات اللاسلكية ، أي يفصل إشارات الصورة (أو الإشارات المرئية) عنها ، وتسلط هذه الإشارات على قطب التشكيل في أنبوب أشعة الكاثود (أنبوب الصورة) في جهاز الاستقبال .

ويشبه هذا الأنبوب في مظهره قارورة زجاجية رقيقة الجدران ذات رقبة طويلة وقاع محدب قليلا . ويفرغ هذا الأنبوب من الهواء ويوجد في نهاية الرقبة مدفع الكترونات يشبه ذلك المستخدم في أنبوب الكاميرا . ويصطدم شعاع الالكترونات الخارج من المدفع بمركز قاع الأنبوب ، وينطى هذا القاع بمادة فلورية خاصة تتوهج عندما تصطدم بها الالكترونات ذات سرعة عالية ، وتتوهج شاشات التليفزيون المستخدمة حاليا بضوء أبيض .

ويمر شعاع الالكترونات ، كما في أنبوب الكاميرا تماما بين الواح انحراف وهو في طريقه من المدفع إلى الشاشة ، وتزود هذه الألواح أيضا بفولتيات من مولدات خاصة تجعل الشعاع ينحرف رأسيا وأفقيا (★) .

(★) بالإضافة إلى الانحراف الاستاتيكي الكهربائي المذكور ، تستخدم أنابيب الصورة غالبا الانحراف المغناطيسي الكهربائي .

وتتناظر حركة شعاع الالكترونات فى أنبوب الصورة حركة الشعاع فى أنبوب الكاميرا تماما - ولضمان ذلك فان جهاز ارسال التليفزيونى يرسل اشارات مزمنة خاصة بالاضافة الى اشارات الصورة وفى نفس الوقت معها . وتجعل هذه الاشارات الاشعة الالكترونية فى جميع أجهزة الاستقبال تبدأ مسح أول خط فى الصورة فى نفس الوقت الذى يقوم فيه الشعاع الالكترونى فى أنبوب الكاميرا بمسح أول خط فى الفسيفساء .

فاذا لم توجد اشارات المزامنة لحظة بداية هذه الحركة وسرعتها ، فان الصورة تظهر مشوهة ، فمثلا يمكن أن يظهر هذا التشويه - المعروف فى السينما أيضا - والذى تبدو فيه الصورة مقطوعة نصين الأسفل منهما فوق الأعلى .

وكما ذكر من قبل ، تسلط اشارات الصورة على قطب التشكيل فى أنبوب الصورة . ويمنع هذا القطب الالكترونات من مغادرة المدفع فى حالة عدم وجود اشارة ، ونتيجة لهذا تظل شاشة الأنبوب مظلمة .

فاذا سقطت صورة على فسيفساء أنبوب الكاميرا ، تظهر على قطب التشكيل فى أنبوب الصورة فلطية تزيد كلما زادت شدة الضوء الساقط على الجزء المناظر فى الفسيفساء . وهذا يدفع تيارا من الالكترونات من مدفع الالكترونات ، ويتناسب هذا التيار مع فلطية التشكيل ولما كان توهج أية بقعة على الشاشة يعتمد على عدد الالكترونات التى تصطدم بها ، فان توهج الشاشة يتناسب مع اضاءة البقعة المناظرة على فسيفساء أنبوب الكاميرا .

وبهذا نرى أنه نتيجة للعمل المتزامن (فى وقت واحد) لدائرتى المسح فى جهازى ارسال والاستقبال ، فان الصور الدقيقة للأشياء الموضوعة أمام عدسة الكاميرا يعاد تكوينها على شاشات أجهزة الاستقبال التليفزيونى .

ونظرا لأن معدل ارسال الصور التليفزيونية هو ٢٥ صورة فى الثانية ، فانه يمكن إعادة تكوين الصور المتحركة والثابتة .

وتصنع أجهزة تليفزيونية عالية الجودة متعددة الأنواع فى الاتحاد السوفيتى ومعظمها مزود بأنابيب صور يزيد قطرها على ٣٠ ★ سنتيمترا ، والأجهزة الأخيرة منها أصغر حجما وأخف وزنا من الأنواع

السابقة كما أن استهلاكها الكهربائي أقل . فمثلا نجد أن طراز روبين الذى قطر شاشته ٤٣ سنتيمترا أخف واصغر من طراز تمب - ٢ الذى قطر شاشته ٤١ سنتيمترا ، كما أن استهلاكه الكهربائي أقل منه . أما الجهاز طراز يانتار الجديد فقطر شاشته ٥٣ سنتيمترا .

ولجهاز التليفزيون موسكفا أكبر شاشة ، وهو من نوع الاسقاط ، فتولد صورته على أنبوب خاص ذى شاشة صغيرة يصل قطرها الى ستة سنتيمترات فقط ولكنها شديدة الاضاءة، ثم تسقط الصورة بواسطة مجموعة بصرية خاصة على شاشة أبعادها ٠٩ × ١٢ مترا . وقد أظهرت التجربة أنه فى قاعة مظلمة ، يمكن أن يشاهد هذه الشاشة ٢٠٠ متفرج فى وقت واحد . وهذا الجهاز مناسب بصفة خاصة للنوادي والاستراحات لأنه مزود بجهاز للتحكم من بعيد بحيث يمكن التحكم فيه من الجانب المقابل من القاعة .

التليفزيون الملون

اقترح المهندس السوفيتى ى ١٠ . آدميان سنة ١٩٢٥ أو طريقة لارسال الصور الملونة باللاسلكى . وكانت هذه الطريقة تعتمد على المسح الميكانيكى باستخدام قرص نيكوف ومرشحات ملونة دوارة ، وكان هذا مناسباً للمستوى العالم للتليفزيون فى ذلك الوقت .

أما الآن فهناك الكثير من الطرق المختلفة للحصول على التليفزيون الملون ، وكثير منها ارساله على الجودة كما تستخدم أجهزة بسيطة نسبيا ، ولكن عند اختيار أحسن الطرق يجب على المهندسين ألا ينظروا الى المشاكل الهندسية فحسب بل أيضا الى اهتمامات الملايين من مشاهدى التليفزيون الذين يمكن أن يكون التليفزيون الأبيض والأسود . ومن المعترف به عموما أن أكثر الطرق ملائمة هى تلك التى تسمح باستقبال التليفزيون الملون بواسطة الأجهزة العادية بالأبيض والأسود بدون أى تغيير فى الجهاز ، وكذلك يجب أن تسمح الطريقة المستخدمة فى الارسال الملون باستقبال الارسال الأبيض والأسود على الأجهزة الملونة .

ولكن كيف يتم ارسال واستقبال الصور الملونة ؟ تستغل معظم أجهزة التليفزيون حساسية العين للألوان المركبة التى اكتشفها نيوتن . فقد وجد أنه يمكن خلط أى لون باللون المتهم له لانتاج اللون الأبيض .

والألوان المتتامة هي النيلي مع الأصفر والأزرق مع البرتقالى والأخضر مع الأرجوانى وبعض الألوان الأخرى . وقد استخدمت هذه الخاصية منذ زمن بعيد فى طبع الصور الملونة . فاستخدام لونين من مجموعة الألوان المتتامة ، يمكن الحصول على صورة ملونة جيدة . وبخلط هذين اللونين بنسب مختلفة يمكن الحصول على ألوان بينية مختلفة .

وللحصول على صور ملونة عالية الجودة يجب استخدام ثلاثة ألوان ، الأحمر والأخضر والأزرق مثلا ، أو الأحمر والأصفر والأخضر . وتستخدم طريقة الألوان الثلاثة هذه حاليا فى الأفلام السينمائية الملونة والتصوير الفوتوغرافى وفى معظم دور معظم الطباعة التى تطبع الصور الملونة .

وتستقبل العين الصور الملونة المركبة ليس فقط عندما تضاف الألوان الأساسية الى بعضها البعض بل أيضا عندما يتبع الواحد منها الآخر بسرعة ، وهذا بسبب مداومة العين التى ذكرناها من قبل .

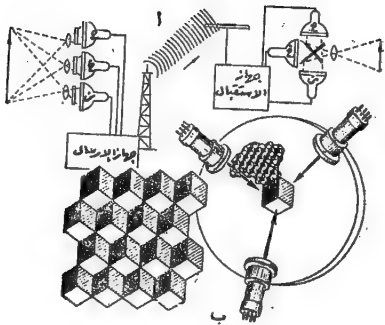
وطبقا لهذا يمكن تقسيم نظم التليفزيون الملون الى قسمين رئيسيين ، تظهر الألوان المتزامنة ونظم الألوان المتتابعة حيث ترسل الألوان الأساسية الواحد منها بعد الآخر .

ثم يمكن تقسيم هذه النظم ثانية وفق ما اذا كانت تستخدم ثلاثة أنابيب منفصلة كل منها مختص بلون واحد ثم تخلط الألوان بصريا لتكون الصورة أو ما اذا كانت عناصر الألوان المختلفة توضع بترتيب خاص على شاشة أنبوب واحد وتكون هذه العناصر من الصغر بحيث لا تراها العين ولكنها تختلط ببعض لتكون صورة ملونة (شكل ١٥)

وقد اضطرت احتياجات التليفزيون الملون الفيزيائيين لابتكار أنواع جديدة من المواد الفلورية التى تولد ألوانا أساسية نقية ناصعة عندما تصطدم بها الالكترونات .

وفى النظم التى تخلط فيها الصور بصريا ، تغطى شاشات الأنابيب الثلاثة بثلاثة أنواع مختلفة من المواد الفلورية بحيث لو نظرنا الى كل صورة على حدة لرأيناها أحادية اللون . أما اذا نظرنا الى جهاز الاستقبال فاننا نرى الصور الثلاثة كلها مضافة بعضها الى بعض فى وقت واحد ، ونتيجة لهذا نرى الصورة ملونة بألوانها الطبيعية .

وتستخدم بعض نظم التليفزيون الملون أنبوبا واحدا لأشعة كاثود تولد الصورة الملونة على شاشته مباشرة . وهناك عدة طرق لذلك ، وتعتمد جميعها على أن العناصر أحادية اللون للصورة تكون صغيرة حتى



(شكل ١٥) : تكوين الصور الملونة

١ - المسافة ثلاث صور احادية اللون • ب - ألحوب التكوين الملون

ان العين لا تستطيع أن ترى كلا منها على حدة اذا نظرت اليها من مسافة متر أو ١.٥ متر فأكثر بل تندمج في صورة واحدة ملونة •

وتتكون شاشة مثل هذه الأنابيب من كمية كبيرة من أمهات ثلاثية تغطي الجوانب المتشابهة منها بنفس النوع من المادة الفلورية وتقذف بالالكترونات من واحد من ثلاثة مدافع الكترونات ، وهناك أنواع أخرى توضع فيها المواد الفلورية المختلفة على هيئة أسطر ضيقة متوازية وهكذا •

وبالطبع تكون شاشات أنابيب أشعة الكاثود المستخدمة في أجهزة التليفزيون الملون معقدة جدا حتى أنه وجد من غير المريح انتاج أنابيب صغيرة نظرا للدقة العالية المطلوبة • ويبدو أن أكثر أجهزة الاستقبال شيوعا ستزود بأنابيب يصل قطرها الى نصف متر •

ومن البديهي أن تركيب الصورة الملونة أعقد من تركيب الصورة بالأبيض والأسود • لهذا يجب أن ترسل الاشارات المناسبة لكل من الألوان الأساسية الثلاثة اذا أريد الحصول على استقبال صحيح للصورة

باستخدام نظام الألوان الثلاثة وهذا بالطبع يتضمن زيادة عدد الاشارات المراد ارسالها أو كما تعود رجال اللاسلكى أن يقولوا ، يجب زيادة حجم البيانات المراد ارسالها . ويبدو لأول وهلة أن زيادة حجم البيانات مع الاحتفاظ بالقيم القياسية (٢٥ اطارا فى الثانية و ٦٢٥ خطا فى الصورة) قد يتطلب مضاعفة نطاق ترددات اشارة التلفزيون ثلاث مرات ، وقد كان من المحتمل أن يكون هذا هو الحال بالفعل لو لم يكتشف مهندسو الراديو امكانيات رائعة استنبطت من أعمال الاكاديمى كوتلنيكوف والعلماء الأمريكين فيتر وشانون وآخرين .

فقد ظهر أن نظم التلفزيون الحديثة مسرفة جدا فى استخدام نطاقات الترددات المخصصة لها ، اذ يحتوى النطاق المتسع الذى يبلغ ستة ملايين ذبذبة فى الثانية والذى تشغله كل قناة تليفزيونية على قطاعات خالية من الاشارات تقريبا . وتمثل هذه القطاعات حيزا اضافيا يمكن استخدامه فى ارسال الصور الملونة بدون زيادة نطاق الترددات الكلى .

ويمكن - باستغلال خواص العين البشرية - استخدام نطاق من الترددات أضيق بكثير من ذلك المطلوب نظريا . وقد ذكرنا احدى هذه الخواص عندما تكلمنا عن المسح المتشابك الذى استخدم لازالة الارتعاش فى الصورة بدلا من مضاعفة التردد الاطارى (الذى يعنى مضاعفة نطاق الترددات) .

فقد وجد أن العين لا تستطيع تمييز ألوان التفاصيل الصغيرة ، وبالتالي لم تعد هناك حاجة لتكوينها . والواقع أن هذه التفاصيل هى التى تشغل القطاع عالى التردد من النطاق المخصص للقناة التليفزيونية . وبهذه المناسبة تستخدم هذه الخاصية للعين بكل نجاح فى الطباعة الملونة حيث تطبع التفاصيل الصغيرة للصور الملونة باللون الاسود العادى دون أن تفقد الصورة جودتها . وبهذا لا يلزم ارسال الألوان الا للمساحات الكبيرة نسبيا وهى التى تناظر الترددات المنخفضة . وفى نظم التلفزيون الملون الجارى تطويرها الآن ، يحاول الباحثون تقريب نطاقات الترددات المخصصة للألوان بعضها من بعض مما يجعل توزيعها أكثر اتفاقا مع المنطق .

ويمكن اعطاء فكرة عن الطرق المستخدمة لتضييق نطاق التردد - التى مهنت نظرية المعلومات لها - من المثال التالى . لنفرض أن الصورة المراد ارسالها منظر بحرى يتكون من سماء فاتحة اللون متجانسة وبهى

داكن اللون . ففي النظم الحالية ترسل اشارة تدل على شدة اضاءة كل نقطة في الصورة بينما لا تتغير شدة الاضاءة في مثالنا هذا الا مرة واحدة فقط في كل اطار ، وذلك عند الانتقال من السماء الى البحر بينما تقترح نظرية المعلومات ارسال بيانات شدة اضاءة أول نقطة في الصورة ثم عندما تتغير بعد ذلك فقط ، وهذا يعنى أنه بالنسبة لمثالنا هذا ينخفض عدد الاشارات المرسلة من نصف مليون كل اطار الى اثنين فقط ، وهذه بالطبع حالة قصوى . ولا يتطلب الأمر تحليلا احصائيا لمعرفة ما اذ كانت صورة ما تحتوى على مساحات متجانسة كبيرة أو صغيرة وانما تكفى لذلك نظرة واحدة .

وليس هناك شك في أن ارسال اشارات تدل على تغير الألوان والاضاءة أوفر بكثير من ارسال اشارات الألوان والاضاءة لكل نقطة .

وبتطبيق أساليب نظرية المعلومات يمكن حل مشكلة التوفيق بين نظم التليفزيون الملون وتلك المستخدمة حاليا في التليفزيون الابيض والأسود . وبالتالي سيتمكن هذه النظرية من تحسين جودة الصور التليفزيونية الى حد يجعلها في مستوى أحسن الأفلام الملونة في عصرنا الحاضر .

ما وراء الحدود المنظورة

ان الأهمية الثقافية والعملية لتطوير التليفزيون الى ما هو عليه الآن واضحة ، ولكن التليفزيون أداة قيمة للغاية في العلم والهندسة .

فان الفسيفساء الحساس للضوء - مثله في ذلك مثل الخلية الضوئية العادية - ليس حساسا للضوء المرئي فحسب بل أيضا للأشعة فوق البنفسجية غير المرئية وكذلك للأشعة تحت الحمراء ذات الأهمية الخاصة . وتسمى الأشعة تحت الحمراء وأحيانا الأشعة الحرارية لأنها تنبعث بكميات كبيرة من جميع الأجسام الساخنة حتى لو كانت درجة حرارتها أقل من أن تبعث ضوءا مرئيا .

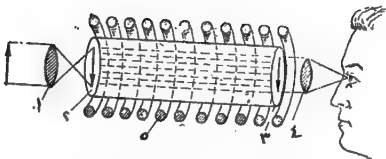
فاذا وضعت قطعة من الحديد الساخن أو ابريق ساخن في غرفة مظلمة تماما على مائدة أمام جهاز ارسال تليفزيونى ذى أنبوب كاميرا حساس للأشعة تحت الحمراء ، فان من يقف بجانب جهاز الارسال لا يراها بينما تظهر صورتها على شاشات أجهزة الاستقبال التليفزيونى .

وتظهر هذه .لقطع المعدنية الساخنة للمشاهدين كما لو كانت مضادة بضوء ناصع أو ساخنة لدرجة البياض بحيث تبعث ضوءها الخاص ، وهذا نتيجة لسقوط الأشعة تحت الحمراء غير المرئية التي تبعثها الأجسام الساخنة على الفسيفساء الحساس للضوء والموجود في أنبوب الكاميرا .

وتستطيع الأشعة تحت الحمراء أن تخترق السحب والضباب والدخان أكثر من الضوء المرئي ، ولهذا يمكن أن يكون ،لتليفزيون ذا فائدة عظيمة في اكتشاف الطائرات والدبابات ليلا أو في السحاب أو الضباب وذلك بواسطة الأشعة تحت الحمراء التي تشعها مواسير العادم الساخنة ومداخل السفن . ومن الخواص الهامة لهذا الاستخدام للتليفزيون ، أن عامل تشغيل التليفزيون يمكنه أن يظل مختبئا بغير أن يشعر به أحد لأنه لا يبعث أى إشارة ، بعكس الرادار الذى سفتناوله بالبحث في الفصل القادم . ويمكن زيادة كفاية هذه الطريقة للمراقبة باستخدام أضواء كاشفة قوية تشع الأشعة تحت الحمراء فقط . وتنعكس هذه الأشعة - كاشعة الضوء - عن الأجسام المختلفة بلموجات مختلفة . وباستخدام ضوء كاشف ، يشع الأشعة تحت الحمراء ، مع كاميرا تليفزيونية ، يمكن رؤية الأجسام الباردة وملاحظة المنطقة المحيطة بالكاميرا في أى جو (★) .

وبهذا مكن التطور في تقنيات التليفزيون من حل مشكلة الرؤية في الظلام . وأساس عمل أنابيب « الرؤية الليلية » فى غاية البساطة (شكل ١٦) . والجزء الرئيسى فى الأنبوب عبارة عن غلاف اسطوانى من الزجاج مفرغ من الهواء ويغطي أحد سطحيه المستويين من الداخل بطبقة من السيزيوم وتعمل ككاتود ضوئى . ويغطي السطح المستوى الآخر طبقة فلورية تشبه تلك المستخدمة فى شاشات أنابيب أشعة الكاثود ، ويتصل الطرف السالب للبطارية التى تغذى الأنبوب بالكاثود الضوئى بينما يوصل الطرف الموجب بالشاشة . وبهذا تنجذب الالكترونات المنبعثة من الكاثود إلى الشاشة بسرعة تتزايد أثناء الطريق تزايدا يعتمد على غلطة البطارية . ويوضع الأنبوب بأكمله فى مجال مغناطيسى متجانس فى اتجاه محور الأنبوب ، ويشترط أن تكون قيمة هذا المجال واتجاهه واحدا فى جميع .النقط ، ويضمن التأثير المشترك للمجال المنتظم والبطارية المتصلة بالأنبوب سقوط جميع الالكترونات المنبعثة من نقطة ما على الكاثود على النقطة المناظرة من الشاشة دون سواها .

(★) وفى هذه الحالة يمكن ، بالطبع ، أن يكشف هذا الضوء الكاشف باستخدام أجهزة حساسة للأشعة تحت الحمراء .



(شكل ١٦) : أنابيب الرؤية الليلية •

- ١ - عدسة
٢ - كاثود ضوئي
٣ - شاشة للورقة
٤ - العينية
٥ - ملف

فاذا استخدمت عدسة لاسقاط صورة الهدف على الكاثود الضوئي ، تتبعث النقاط المختلفة للكاثود كميات مختلفة من الالكترونات حسب شدة اضاءة النقاط المناظرة في الصورة . ونتيجة للخاصية المذكورة سابقا للمجال المغناطيسي ، تظهر صورة على الشاشة تناظر تلك الساقطة على الكاثود الضوئي ، لأن كل نقطة على الشاشة تتلقى الالكترونات من النقطة المناظرة على الكاثود ، وهذا يعنى أن درجة اضاءة كل نقطة تعتمد على شدة استضاءة النقطة المناظرة في الصورة •

وبما أن الكاثود لا يستجيب للضوء المرئي فحسب بل للأشعة تحت الحمراء أيضا ، فإن هذا الأنبوب يمكنه تحويل الصورة غير المرئية المكونة بالأشعة تحت الحمراء الساقطة على الكاثود الضوئي الى صورة مرئية على شاشة الأنبوب •

وبهذا يمكن لشخص مزود بأنبوب من هذا النوع أن يرى بالليل المنطقة المحيطة به ، بحيث يرى ما حوله كما لو كان ينظر في منظار تجسس في النهار تقريبا ، ويضاف عادة الى مثل هذه الأنابيب مشعل صغير يشع شعاعا رفيعا قويا من الأشعة تحت الحمراء •

كما يمكن التليفزيون أيضا من مراقبة الماكينات والآلات من بعيد أثناء عملها ، وكذلك العمليات المختلفة التي تحدث في ظروف تمنع وجود الإنسان قريبا منها •

فمثلا ، من المعروف جيدا أن العمليات المختلفة التي تحدث في المناطق النشطة من المفاعلات الذرية يجب أن تتم بواسطة آليات يتم التحكم فيها من بعيد ، وليس من الملائم دائما ملاحظة هذه الآليات من خلال تقوب ، وفي هذه الحالات تكون المعدات التليفزيونية عظيمة الفائدة •

وكذلك يمكن ادخال كاميرات التلفزيون الصغيرة في ثقب في الحوائط للكشف عليها .

ويمكن لعمال المراقبة في السكك الحديدية مراقبة أكثر نقاط الاتصال اذحاما بالاستعانة بالتلفزيون ، وقد تمت تجربة من هذا النوع بنجاح في نقطة اتصال للسكة الحديدية في الاتحاد السوفيتي .

ومن الاستخدامات القيمة بالنسبة للجراحين ، امكان مشاهدة العمليات التي يقوم بها الاخصائيون المهرة مثل جراحات القلب ، اذ لسوء الحظ ، لا يمكن أن يحضر مثل هذه العمليات الا عدد محدود في الوقت الواحد ، وهنا يحل التلفزيون المشكلة ، اذ تسلط عدسة كاميرا التلفزيون على مكان العملية ، بينما تشاهد الجماعات من الأطباء وطلبة الطب العملية على شاشات التلفزيون أو على شاشات الاسقاط . وقد اذيعت بالفعل مثل هذه العمليات التي اشترك فيها مركز تلفزيون لينينجراد والكلية الطبية العسكرية في كيروف منذ يناير سنة ١٩٥٣ ، أما الآن فيستخدم التلفزيون الملون في نقل العمليات الجراحية .

أما عالم المحيطات فان المعلومات عنه قليلة بقدر ما هو هام ، وتستطيع كاميرا التلفزيون اذا وضعت تحت سطح الماء أن تصبح مشاهدا غير طفيل للحياة في الأعماق . وبهذا يمكن العثور على السفن الغارقة بأسرع مما يستطيع القواصون ، ويحكم سد الكاميرا بالنسبة للماء بحيث يمكنها ان تبقى تحت الماء بقدر ما يلزم .

وتستخدم الكاميرات التلفزيونية بنجاح في رفع السفن والطائرات الغارقة ، فيحدد مكان المركبة الغارقة أولا بوساطة كاشفات المعادن ثم تفحص فحفا دقيقا باستخدام كاميرا تلفزيونية ، وتساعد الكاميرا على التأكد من موقعها في القاع والعثور على الثقوب وفحصها والإشراف على عمليات الرفع . وقد أمكن بهذه الطريقة رفع سفن وطائرات من أعماق وصلت الى ٣٠٠ متر ، الأمر الذي كان مستحيلا بالطرق القديمة .

وسيلعب التلفزيون دورا هاما في رحلات الفضاء التي ستتم في القريب العاجل ، اذ ستطلق أولى سفن الفضاء بدون طاقم ، ثم بعد استكشاف الكواكب بوساطة التلفزيون والأجهزة الأخرى يمكن للانسان أن يبدأ رحلاته في الفضاء (★) .

(★) وقد بدأ هذا بالفعل ، وكلنا نعرف نتائج أولى التجارب التي صور فيها القمر بالتلفزيون - (الترجمة) .

الرادار

فيزياء الرادار

توصلت عدة دول الى الرادار فى وقت واحد تقريبا وقامت بتطويره . تحت ستار من السرية التامة • فقد بدأ العمل فى هذا المجال فى بداية الثلاثينيات فى الاتحاد السوفيتى ، وفى عام ١٩٣٥ فى الولايات المتحدة وبريطانيا ، وقد كان أول من نجح فى هذا المضمار جماعة من العلماء السوفيت باشراف ي • ب • كوبرزيف العضو المراسل فى أكاديمية العلوم بالاتحاد السوفيتى • وكانت هذه الجماعة قد بدأت فى تصميم محطة لتحديد المواقع باستخدام النبضات اللاسلكية فى سنة ١٩٣٥ • وفى بداية الحرب العالمية الثانية كان لدى بريطانيا وألمانيا والولايات المتحدة محطات رادار أيضا •

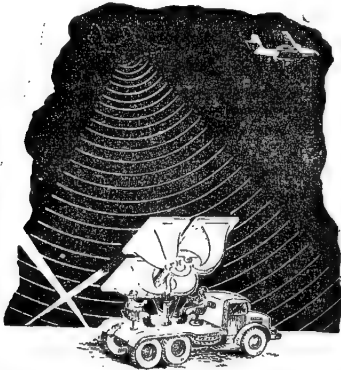
والرادار سلاح غير عادى • فان محطة الرادار لا تسقط الطائرات بنفسها ، ولا تفرق السفن ، ولا تدمر القدرة الآدمية أو الماكينات ، ولكنها اذا تضامنت مع أى نوع من الأسلحة فانها تعطيه امكانيات جديدة غير متوقعة •

فى البحر - كما فى الجو - أدخل الرادار تغييرا جذريا على طرق القتال ، لقد اضطر الأدميرالات الألمان للاعتراف بأن الرادار حول الفواصات من صائدة الى ضحايا •

وتحديد المواقع باللاسلكى ، أو الرادار (وهى اختصار التعبير الانجليزى الذى ترجمته : (الاكتشاف وتحديد المواقع باللاسلكى) (★) هو وسيلة لتحديد أماكن الأهداف بواسطة الموجات اللاسلكية ، وتستعمل فى هذا المجال أقصر الموجات اللاسلكية ، تلك التى تتراوح بين عدة أمتار الى عدة ديسيمترات بل سنتيمترات •

وتشع هذه الموجات هوائيات خاصة فى أشعة ضيقة تشبه أشعة
الأضواء الكاشفة . ومن السمات المميزة لجهاز ارسال الرادار انه
لا يرسل الموجات اللاسلكية باستمرار وإنما فى نبضات قصيرة ،
ويستقبل جهاز استقبال الرادار الموجات اللاسلكية المنعكسة من الهدف
فى الفترات بين هذه النبضات ، وتمكن الموجات اللاسلكية المنعكسة عامل
التشفيل من تحديد مكان الهدف ، وفى بعض الأحيان رؤية صورته
أيضا .

ومن المعروف أن ظهور سلاح جديد سرعان ما يكون سببا فى ابتكار
الوسائل للتغلب عليه ، فعندما تمكنت الطائرات من الطيران ليلا وفوق
السحاب ، ظهرت أجهزة لتحديد المكان باستخدام الموجات الصوتية
أمكنها تحديد اتجاه الطائرة غير المرئية ، ولكن عندما زادت سرعة
الطائرات الى أكثر من ٥٠٠ كيلو مترا فى الساعة ، لم تعد أجهزة تحديد
المكان باستخدام الموجات الصوتية صالحة لتحديد مكان الطائرة تحديدا
صحيحا ، فحتى يصل صوت محركات الطائرة الى هذه الأجهزة تكون
الطائرة نفسها فى مكان آخر ، وبهذا تكون الطائرة - أينما وجدت - قد



(شكل ١٧) : يعطى الجهاز الصوتى لتحديد الأماكن بيانا غير صحيح عن مكان الطائرة .

• هربت ، بالفعل من صوتها (شكل ١٧) • وبهذا أصبح لزاما استبدال أجهزة تحديد الموقع الصوتية بأجهزة أخرى تعمل طبقا لنظرية مختلفة •

وفي ذلك الوقت ، كانت البحرية تشعر أيضا بحاجة لطريقة جديدة لتحديد أماكن الأهداف ، بحيث يمكن بواسطتها اكتشاف السفن على مسافات بعيدة وفي الضباب ليلا ونهارا •

وكانت طريقة حل هذه المشكلة قد وجدت - من حيث المبدأ - منذ زمن طويل ، ولم يجدها سوى مخترع الراديو ألكسندر بوبوف بنفسه • فعندما كان بوبوف يقوم بتجارب على الاتصال اللاسلكي في خليج فنلندا ، لاحظ أن السفن التي تمر بين جهازى الإرسال والاستقبال تغير شدة الإشارة بشكل ملحوظ ، وقد توصل بوبوف في الحال الى أنه يمكن استخدام هذه الظاهرة في مراقبة دخول السفن الى الخلجان وحراسة الممرات المائية ، وحيثما كان اكتشاف وجود السفن والأشياء الكبرى الأخرى ضروريا •

وبمضى عدد قليل من السنين على بدء تطوير الهندسة اللاسلكية في عدد من البلاد ، كانت هناك كثير من براءات الاختراع التي تشرح طرقا مختلفة لاستخدام الموجات اللاسلكية في الكشف عن السفن • وكانت بعض هذه الطرق مدروسة بتفصيل كبير ، وفي عدد من الحالات قادت الى نفس الأسس الموجودة في محطات الرادار الحديثة •

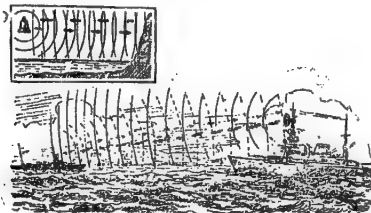
ومع ذلك لم يتمكن الرادار من التطور بالسرعة التي تطورت بها الاتصالات اللاسلكية • وكان هذا نتيجة للعدد الهائل من العقبات الفنية التي واجهت تطوير محطات الرادار •

وسنرى سريعا أن الرادار قد احتاج الى تصميم أنواع خاصة من الصمامات الالكترونية وهوائيات غير عادية وأدوات أخرى خاصة ، ولولا انابيب أشعة المهبط التي أدخلت عليها التحسينات اللازمة لتفى باحتياجات التليفزيون لما وجد الرادار الحديث •

والآن ، ما هي السمات الأساسية لجهاز الرادار الحديث ؟

يشع جهاز الإرسال اللاسلكى المعتاد الموجات اللاسلكية في كل الاتجاهات بنفس الطريقة التي يشع بها المصباح المتوهج الضوء • وب نفس الطريقة ينتشر صوت الصفارة البخارية أو السريشة أو الجرس في كل الاتجاهات • وينعكس جزء من الموجات اللاسلكية مثلما يفعل جزء من الضوء أو الصوت على الأشياء المحيطة ويعود الى مصدره ، ولكن تكون هذه الموجات المنعكسة ضعيفة جدا ويصعب تمييزها من الإشارات القوية المرسله •

ومن هذا استنتج العلماء أنه إذا أريد استقبال الصدى اللاسلكي
(الموجات اللاسلكية المنعكسة من الأشياء المختلفة) بنجاح ، يجب أن
يرسل جهاز الإرسال إشارات قصيرة ، أو نبضات ثم يستقبل الصدى
في الفترات التي تمر بين النبضات (شكل ١٨) . ونحن في الواقع



(شكل ١٨) : صدى الصوت والصدى اللاسلكي .

نقوم بنفس الشيء إذا أردنا الاستماع الى صدى الصوت ، فنصيح أولا
ثم ننتصت للصدى .

وللعمل بنبضات قصيرة ميزة أخرى ، إذ يمكن لجهاز الإرسال الذي
يرسل النبضات أن يشع قدرة أكبر بعشرات ، بل مئات المرات مما في
حالة التشغيل المستمر مع الاحتفاظ بنفس حجم الجهاز ووزنه تقريبا .

وحتى تنعكس الموجات اللاسلكية على الهدف انعكاسا ملحوظا ،
يجب أن يكون طولها أقصر من أبعاد الهدف ، وكلما قصر طول الموجة زاد
الانعكاس ، إذ تتخطى الموجات الطويلة الأشياء الصغيرة كما تتخطى
أمواج البحر المرتفعات الصغيرة والأحجار . ولهذا السبب تراوح أطوال
الموجات المستخدمة في الرادار من عدة أمتار الى عدة سنتيمترات .

كذلك تعتمد دقة تحديد مكان الهدف المكتشف على طول الموجة
المستخدمة . فكلما قصر طول الموجة زادت الدقة ، لهذا السبب تستخدم
أجهزة الرادار التي تتحكم في إطلاق المفعية مثلا الموجات السنتيمترية .

ومن ناحية أخرى يعتمد مدى جهاز الرادار على قدرة جهاز الإرسال
فيه ، وليس من السهل الحصول على قدرات عالية للموجات السنتيمترية .

لهذا تستخدم أجهزة الرادار المصممة لاكتشاف الطائرات والسفن من مسافات بعيدة الموجات الأطول (الموجات الديسيمترية أو حتى المترية) حيث لا تكون الدقة العالية مطلوبة ، ولأنه من الأسهل الحصول على قدرات خرج عالية .

ومع ذلك ، فإكتشاف الإشارة المنعكسة فحسب لا يكفي ، فإن هذه الإشارة - مثلها في ذلك مثل صدى الصوت المعتاد - لا تبين أكثر من أنه هناك عقبة في طريق الموجات اللاسلكية أو الصوتية ، ولكن يجب أيضا معرفة مسافة هذا الهدف المكتشف واتجاهه .

ولتحديد الاتجاه ، نجد أن أحسن الحلول هو تقليد تصميم الضوء الكاشف . فبدلاً من أن نسمح للضوء بالانتشار في جميع الجهات ، يوضع مصدر الضوء أمام مرآة كبيرة (عاكس) تجمع الضوء كله في جزمة ضيقة ساطعة .

وكان هذا هو بالضبط ما فعله رجال اللاسلكي ، فقد وضعوا هوائي جهاز الإرسال في مركز (بؤرة) عاكس معدني كبير على شكل قطع مكافئ ، وبهذا أصبحت الموجات اللاسلكية تشع في شعاع ضيق غير مرئي يحتوي على خرج جهاز الإرسال بأكمله تقريباً . وتسير مثل هذه الأشعة في خطوط تكاد تكون متوازية بدون أن تنتشر على الجوانب ، ونتيجة لهذا يحتفظ الشعاع اللاسلكي - مثل شعاع الضوء - بدرجة سطوعه إلى مسافات بعيدة مما يزيد من قوة الإشارة المنعكسة وبالتالي مدى الجهاز بأكمله .

ولزيادة المدى أكثر من ذلك ، يوضع هوائي الرادار المخصص لاستقبال إشارات الصدى أيضاً في بؤرة عاكس معدني كبير ، ويستخدم عادة نفس هوائي الإرسال في الاستقبال ويوصل بجهاز الاستقبال أثناء التوقف عن الإرسال ، ويركز العاكس كل الموجات اللاسلكية الساقطة على سطحه على الهوائي مثلما تفعل مرآة التليسكوب ، وبهذا تزيد حساسية جهاز الاستقبال عدة مئات من المرات .

وبملاحظة الاتجاه الذي كان العاكس مثيراً إليه عند استقبال إشارات الصدى ، يمكن تحديد اتجاه طائرة مقترية مثلاً بدقة .

ويمتناسبة الكلام عن العواكس يجب أن نذكر أنه إذا أريد الحصول على أشعة ضيقة من الموجات اللاسلكية ، فإنه يجب استخدام عواكس تزيد أقطارها كثيراً على أطوال موجات الإشارات التي تشعها المحطة ،

وكلما زاد القطر بالنسبة لطول الموجة قل انتشار الشعاع الذي تتركز فيه الطاقة المشعة ، ولهذا لم تظهر الهوائيات ذات العواكس الا بعد أن تعلم المهندسون كيفية الحصول على موجات لاسلكية طولها أقصر من متر .

وقد كان قطر العواكس الأولى أربعة أمتار ، استخدمت مع أجهزة الرادار التي كانت أطوال موجاتها حوالى ٥٠ سنتيمترا ، وقد كانت الحاجة للحصول على دقة أكبر فى تحديد الوضع الزاوى للطائرات بدون زيادة حجم العاكس أحد الأسباب الرئيسية للانتقال الى موجات أقصر ، اذ سمح هذا باستخدام عواكس أصغر بكثير ، مع الاحتفاظ بنفس الدقة . فمثلا اذا اريد الحصول على دقة كافية مع استخدام موجات طولها ثلاثة سنتيمترات ، يكفى استخدام عاكس قطره حوالى نصف متر فقط .

وبالطبع لا يكون عمليا استخدام عواكس للحصول على أشعة متوازية من الموجات اللاسلكية المستخدمة فى منشآت الرادار بعيد المدى الذى يعمل بموجات يزيد طولها على المتر ، لأن العاكس فى هذه الحالة يكون كبيرا جدا ، وهنا تستخدم مجموعات خاصة من الهوائيات تتكون من عدد كبير من هوائيات بسيطة متصلة بعضها ببعض .

ونحن نعلم أن الهوائى المعتاد يشع الموجات اللاسلكية فى جميع الاتجاهات ، فإذا رتب عدد من مثل هذه الهوائيات فى مستوى واحد وعلى مسافات تساوى نصف طول الموجة ثم وصلت بحيث تعمل جميعا « معا » ، فإن الموجات اللاسلكية التى تشعها الهوائيات المنفردة يضاف بعضها الى بعض ، ونتيجة لهذا تكون الموجات موجة واحدة مسطحة الشكل تقريبا . وتمتد هذه الموجة المسطحة بدون تشويه ملحوظ ، ولا يحدث انتشار تدريجى للطاقة الا عند حافة الشعاع حيث لا يكون شكل الموجة مسطحا بدرجة كبيرة .

وتسمح طريقة التشغيل بالنبضات بتحديد المسافة بين جهاز الرادار والهدف بسهولة .

وكلنا نعرف كيف يمكن أن تقدر المسافة بيننا وبين عاصفة رعدية ، فبعد الثوانى التى تنقضى من لحظة أن نرى ومضة البرق الى أن نسمع قصف الرعد ، وضرب عدد الثوانى فى سرعة الصوت (٣٣٠ مترا فى الثانية) نحصل على بعد البرق .

أما اذا أردنا قياس بعد هدف ما بالاستعانة بصافرة بخارية أو جرس

فيجب أن تضرب سرعة الصوت في نصف عدد الثواني التي تنقضي من لحظة ارسال الصوت الى لحظة استقبال الصدى لأن الصوت يقطع المسافة ذهابا وإيابا فيستغرق ضعف الزمن .

وينطبق نفس الشيء على الموجات اللاسلكية التي يشعها جهاز الرادار مع فارق واحد هو أن سرعة الموجات اللاسلكية أكبر بملايين المرات من سرعة الصوت ، وبهذا لا تؤثر السرعة العالية للطائرة - التي خدعت محددات المواقع بالموجات الصوتية - على عمل الرادار ، إذ يمكن للموجات اللاسلكية أن تصل الى الطائرة وتعود الى جهاز الاستقبال قبل أن تتحرك الطائرة مترا واحدا عن مكانها الأول .

وبناء على ذلك اذا أردنا تحديد المسافة بين جهاز الرادار والهدف ، فيكفي قياس الجزء من الثانية الذي ينقضي من لحظة ارسال الإشارة الى لحظة استقبال الصدى ثم يضرب نصف هذا الوقت في سرعة امتداد الموجات اللاسلكية التي تساوى سرعة الضوء ، أى حوالى ٣٠٠٠٠٠ كيلو مترا في الثانية ، والنتيجة هي بعد الهدف بالكيلومترات مباشرة .

وتختلف مدة دوام كل نبضة وعدد النبضات في الثانية من جهاز رادار لآخر .

وإذا كان جهاز الرادار مصمما للتحكم في إطلاق نيران المدفعية ، فإنه يجب تحديد بعد الهدف في مدى يتراوح بين عدة عشرات من الكيلومترات الى عدة مئات من الأمتار بدقة في حدود عدة عشرات من الأمتار . فما هي المتطلبات التي يجب أن يحققها جهاز الرادار المصمم لقياس مسافة ٣٠٠ متر ؟ تقطع الموجات اللاسلكية مسافة ٣٠٠ متر في جزء من المليون من الثانية ، معنى ذلك أن الزمن الذي ينقضي من لحظة الارسال الى لحظة الاستقبال هو جزئان من المليون من الثانية (تقطع الإشارة المسافة مرتين : ذهابا وإيابا) . ولكن بما أنه لا يمكن استقبال إشارة الصدى الضعيفة عندما يكون جهاز الارسال عاملا ، فإن أجهزة رادار المدفعية تشع نبضات قصيرة جدا تصل في بعض الأجهزة الى أقل من نصف جزء من المليون من الثانية .

ومن ناحية أخرى ، يجب ألا ترسل النبضة التالية الا بعد أن تعود الأولى من الهدف الموجود عند نهاية مدى الجهاز الذي قد يصل الى ٣٠ كيلومترا بالنسبة لرادار المدفعية ، ذلك اذا أريد تجنب الأخطاء . وهذه المسافة تناظر جزئين من عشرة آلاف جزء من الثانية ، أما بالنسبة

لِلرَادار المصمم لاكتشاف الطائرات على مسافة تصل الى ٣٠٠ كيلومترا فان زمن عودة الصدى قد يصل الى جزئين من ألف جزء من الثانية ، وهذا يعني أنه يجب ألا يرسل جهاز الارسال نبضات أكثر من ٥٠٠ مرة في الثانية ، أما في حالة رادار المدفعية الذي سبق الكلام عنه فان عدد النبضات لا يتجاوز عادة عدة آلاف في الثانية ، ولكنه من السهل أن نرى أن هذا العدد يمكن أن يصل الى خمسة آلاف في الثانية .

ولقد سبق أن رأينا أن زيادة دقة تحديد الاتجاه تتطلب استخدام موجات لاسلكية أقصر . وباستخدام موجات أقصر يمكن تصغير أبعاد الهوائي ووزن الجهاز بأكمله ، الأمر الذي يعتبر هاما بالنسبة لأجهزة رادار الطائرات ، وبالطبع استعمل المصممون في مجهوداتهم بلا كلل لتطوير محطات الرادار لتعمل بأقصر موجات ممكنة . وبعد أن استخدمت الموجات التي تصل أطوالها الى ثلاثة سنتيمترات فقط بنجاح في الرادار، بدأ العمل في محطات أريد منها أن تعمل بموجات طولها ١,٢٥ سنتيمترا، ولكن أظهرت الاختبارات أن مدى هذه المخطات كان قصيرا جدا حتى أنه كان أقل بكثير من المدى البصري كما كان يتوقف الى حد كبير على الأحوال الجوية .

وقد أظهرت الأبحاث أن السبب في قصر مدى المحطات العاملة بموجات يقل طولها عن ١,٩ سنتيمترا كان شدة امتصاص بخار الماء الموجود دائما في الجو للموجات اللاسلكية فكلما زاد بخار الماء في الهواء، أي كلما زادت رطوبته ، زاد امتصاص هذه الموجات اللاسلكية وقصر مدى محطات الرادار العاملة عليها ، ولما كانت الرطوبة تتغير كثيرا بالتغير في حالة الجو ، كان مدى محطات الرادار العاملة بهذه الموجات متغيرا أيضا .

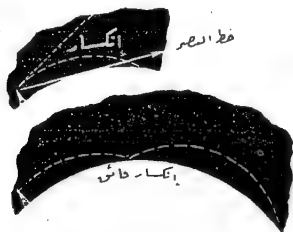
هذا بينما لا يتأثر كثيرا امتداد الموجات اللاسلكية الأطول من تلك ببخار الماء ويمكن أحيانا هذا التأثير في هذه الحالة . ومع ذلك يمكن أن تتأثر الموجات الأطول بنقط الماء مثل المطر والسحاب والضباب بدرجة كبيرة . لهذا يمكن في بعض الظروف رؤية السحاب والعواصف المطيرة .

وكثيرا ما يقال أن الموجات الفائقة القصيرة - وخصوصا الموجات السنتمترية - تمتد في مدى خط البصر فقط ، مما يحده من مدى محطات الرادار ، ولكن يجب ألا يؤخذ هذا الكلام بحرفيته .

حقا كلما قصر طول الموجات اللاسلكية كانت قوانين امتدادها اقرب لتلك الخاصة بالضوء ، ومع ذلك تتأثر الموجات اللاسلكية تأثيرا كبيرا بظاهرة الانكسار ، أى يتشوه مسارها نتيجة لعدم انتظام الجو ، والضوء ينكسر أيضا ، ولكن بينما يمكن غالبا اهمال الانكسار البصرى ، لا يمكن اغفال أمر انكسار الموجات اللاسلكية الفائقة القصر عندما تمتد لمسافات بعيدة .

ونتيجة لعدم انتظام الجو ، لا تمتد الموجات اللاسلكية فى خطوط مستقيمة وانما تنحني بحيث تبعد عن سطح الأرض عند الأفق البصرى ، ونتيجة لهذا يمتد مدى محطات الرادار الى ما وراء الأفق بكثير ، وهكذا يكون الانكسار هو السبب فى أن محطات الرادار البعيدة المدى العاملة بالموجات المترية يمكنها أن تغطى مسافات تصل الى ٣٠٠ كيلو مترا .

ويحق لنا الآن أن نسأل ، لماذا تشوه الاضطرابات الجوية مسار الموجات اللاسلكية ، وما هى طبيعة هذه الاضطرابات ؟ من المعروف أن الضغط الجوى يتغير حسب الارتفاع ، فيكون الضغط على الجبال أقل بكثير منه عند سطح البحر ، أو بعبارة أخرى يكون هواء الجبال أكثر تخلخلا من هواء الأراضي المنخفضة . وتعتمد سرعة امتداد الموجات اللاسلكية على كثافة الوسط الذى تنتقل فيه اعتمادا كبيرا ، فكلما كان الوسط أكثر كثافة قلت سرعة الامتداد (وهذا ينطبق على باقى الموجات المغناطيسية الكهربائية جميعها مثل الضوء المرئى) . وبهذا تكون سرعة امتداد الموجات اللاسلكية فى طبقات الجو العليا أعلى مما هى فى الطبقات



حـ (شكل ١٩) : انكسار الموجات اللاسلكية فى الجو . ويمكن أن تمتد الموجات اللاسلكية الى مسافات بعيدة جدا فى حالات الانكسار غير العادى (الشكل الأسفل) .

السفلى ، وهذا هو السبب فى أن الموجات اللاسلكية المستخدمة فى الرادار يمكنها أن تصل الى مسافات بعيدة وراء الأفق (شكل ١٩) .

وفى بعض الأحيان يسبب الانكسار ظاهرة غريبة تمكن محطات الرادار من أن تغطى مسافات شاسعة ويكفى هنا أن نذكر حالتين مما كتب فى الصحف . فكثيرا ما تمكن عمال تشغيل محطات الرادار فى انجلترا من رؤية الساحل الهولندى على شاشات الرادار ، وكذلك كثيرا ما تستقبل أجهزة الرادار الموضوعة فى الهند الموجات اللاسلكية المنعكسة من الساحل الأفريقى ، وقد كانت هذه المسافات الكبيرة لدرجة غير عادية نتيجة لانكسار الموجات اللاسلكية مع انعكاسها المتكرر على سطح البحر الهادئ .

وتتم هذه العملية كما يأتى : ترتفع طبقات من الهواء الساخن أحيانا من داخل إحدى القارات الى أن تصبح فوق طبقات أبرد من الهواء قريبة من سطح البحر ، ونتيجة لهذا تكون كثافة الطبقات العليا من الجو أقل من الطبقات السفلى لا نتيجة للهبوط العادى للضغط البارومتري . مع الارتفاع فقط بل أيضا نتيجة لارتفاع درجة حرارة الطبقات العليا ، وهذا يرفع قيمة الانكسار عن المعتاد ، فتعود الموجات اللاسلكية التى تشعها المحطة اللاسلكية - نتيجة لهذا الانكسار الفائق - الى سطح البحر فى أقواس ضيقة نوعا . فإذا كان البحر هادئا وسطحه ناعما بالدرجة الكافية ، تنعكس الموجات اللاسلكية منه كما لو كان مرآة بحيث تعود ثانية الى الجو ، ويجعلها الانكسار تعود مرة أخرى الى سطح الماء ويتكرر هذا عدة مرات حتى تصل الموجات اللاسلكية الى الشاطئ فينعكس جزء منها عليه ويعود بنفس الطريقة مكونا صورة للساحل على شاشة الرادار . أما اذا كان سطح البحر خشنا فإن الانعكاس الصحيح لا يحدث . إذ تتفرق الموجات اللاسلكية فى جميع الجهات عند اصطدامها بسطح الماء ويصبح استقبال الرادار من مسافات بعيدة مستحيلا .

وتشبه هذه الظاهرة الغريبة تلك الظاهرة البصرية المعروفة بالسراب ، حيث يرى المسافرون فى الصحارى الأشياء التى تقع بعيدا خلف الأفق ، وبالطبع يندر حدوث ذلك الاستقبال البعيد للرادار لأنه يتطلب توزيعا خاصا لطبقات الهواء الساخنة والباردة وبحرا هادئا نوعا ما .

هذه بعض الفيزيائيات الأساسية للرادار . وهناك أيضا الكثير من الصعوبات الفنية التى كان يجب التغلب عليها قبل أن يصبح الرادار

يمكننا ، إذ يجب إرسال موجات لاسلكية قوية تتراوح أطوالها بين عدة أمتار الى عدة سنتيمترات ، كما يجب إرسال واستقبال اشارات نبضية قصيرة وكذلك يجب إرسال الموجات اللاسلكية في شعاع ضيق ويجب ابتكار الوسائل المناسبة لقياس الزمن بأجزاء من المليون من الثانية .

تكنيك الرادار

عرف الفيزيائيون منذ زمن بعيد كيفية إنتاج موجات لاسلكية قصيرة جدا ، وقد كان العلماء الروس متقدمين في هذا المجال بصفة خاصة ، فمنذ حوالي خمسين سنة حصل ب. ن. ليبيديف على ذبذبات مغناطيسية كهربائية طولها ستة ملليمترات ، ومنذ خمسة وعشرين عاما انتجت أ. جلاجولينار أركاديفا موجات مغناطيسية كهربائية طولها ٠.٣ ر ملليمترا فقط ، ولكن كلا العالمين استخدم طريقة الشرارة الكهربائية في توليد هذه الذبذبات ولهذا كانت الموجات ضعيفة جدا .

وقد ثبت أن صمامات الراديو العادية لا تصلح لتوليد ذبذبات قوية للموجات الديسيمةترية والسنتيمترية ، إذ تنخفض قدرة الموجات اللاسلكية الناتجة عن هذه الصمامات بسرعة مع قصر طول الموجة . وسرعان ما اكتشف أن هذا لم يكن نتيجة لعب في تصميم الصمامات وإنما نتيجة للقوانين التي تؤلف أساس الظواهر التي تحدث في صمامات الراديو العادية .

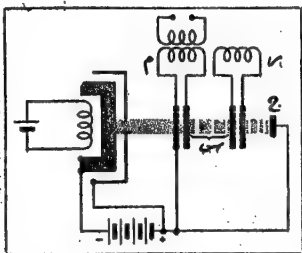
فإن الصفة الرئيسية لمدى الترددات فوق العالية هي أن طول الموجة في هذا المدى يصبح قريبا من الأبعاد الهندسية للدائرة التذبذبية ، وبالإضافة الى هذا يختلف التيار في الأجزاء المختلفة من الدائرة ويزيد إشعاع الطاقة المغناطيسية الكهربائية منها الى القضاء بشدة . ويؤثر هذا الفقد الإضافي على التشغيل الطبيعي للمولد ويجعل من المستحيل استخدام الدوائر المألوفة العادية في مدى الترددات فوق العالية . لهذا تستخدم نظم تذبذبية خاصة بدلا من الدوائر التذبذبية العادية في مدى الترددات فوق العالية (ث . ف . ع) ، وهذه النظم إما من النوع متحد المحور أو من نوع التجويف الرنيني ، حيث يكون لكل عنصر من عناصر الدائرة سعة وحث في نفس الوقت . ومن السمات الرئيسية الأخرى لمدى ث . ف . ع . أن زمن انتقال الإلكترونات بين أقطاب الصمام يكون كبيرا بالنسبة لزمن الذبذبة .

لهذا يتطلب توليد ذبذبات ث.ف.ع. صمامات تعمل على أساس يختلف تماما عن ذلك الذي تعمل عليه الصمامات العادية . هذه الصمامات هي الماجسترون والكلايسترون .

في سنة ١٩٣٢ اقترح البروفسور د.أ. روجانسكى تصميم اداة تعتمد على التحكم الديناميكي في مجرى الالكترونات ، وفي سنة ١٩٣٥ وصفت العالم أ . ارسيفيغا تصميم هذه الاداة ، وقد سميت هذه الاداة الكلايسترون .

ففي الصمامات العادية يتم التحكم في تيار الالكترونات على طول الطريق بين الكاثود والانود بوساطة المجالات الاستاتيكية الكهربائية . أما في الكلايسترون فتقوم ظاهرة الانسياب بالدور الرئيسى . ونعنى بالانسياب سير الالكترونات في الفراغ الحالى من المجالات الكهربائية .

ويبين (شكل ٢٠) رسما تخطيطيا لهذه الاداة . وفيها يمر تيار الالكترونات الخارج من مدفع الالكترونات خلال شبكات تؤلف مكثف دائرة التحكم التذبذبية ، وعندما تسلط فلتية مترددة على هذه الدائرة يشحن اللوح الايمن من هذا المكثف بشحنة سالبة في نصف الدورة الاولى بينما يشحن اللوح الايسر بشحنة موجبة ، والعكس بالعكس في نصف الدورة الثاني . وبهذا تتباطأ الالكترونات المارة في المكثف أثناء

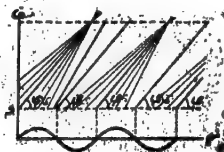


(شكل ٢٠) : الرسم التخطيطي للكلايسترون

- م - دائرة التحكم (المعدل) .
- س - التجويف الرنيني .
- ج - المجمع الذى يوجه الالكترونات الى دائرة الانود .
- س - حيز الانسياب حيث تتجمع الالكترونات في مجموعات .

تصف الدورة الأول بينما تتسارع تلك المارة أثناء نصف الدورة الثاني ، أما الالكترونات المارة في المكثف في اللحظة التي يكون فيها فرق الجهد بين الشبكتين صفرا فلا تتغير سرعتها ، وبهذا تلحق بالالكترونات التي تباطأت في نصف الدورة الأول كما تلحق بها الالكترونات التي تسارعت في نصف الدورة الثاني .

ويمكن توضيح عملية تجميع الالكترونات ذات السرعات المعدلة في مجموعات بيانيا (شكل ٢١) .



(شكل ٢١) : التمثيل البياني لعملية تجميع شعاع الالكترونات ذات السرعات المعدلة . ويتناسب ميل الخط للمستقيم مع سرعة الالكترون . ويتم التجميع عند تقاطع الخطوط المستقيمة

وبما أن كثافة تيار الالكترونات المار خلال المعدل ثابتة ، فانه يمكن تمثيله بنقط على مسافات متساوية بطول الخط . وكما سبق القول لا تتغير سرعة الالكترونات المارة في المعدل عندما يكون فرق جهده صفرا ، وتمثل حركتها بخطوط مستقيمة تميل على المحور بزاوية محددة . أما باقي الالكترونات فتكون سرعتها إما أكبر أو أصغر من تلك حسب اتجاه المجال الكهربائي في لحظة مرورها في المعدل ، وبالتالي يكون ميل الخطوط المستقيمة التي تمثل حركتها إما أكبر أو أقل ، وكما يرى من (شكل ٢١) تتقارب الخطوط تدريجيا وتتقاطع وهذا يناظر عملية التجميع .

وبهذه الطريقة تعدل سرعة تيار الالكترونات المنتظم بعد مروره خلال شبكتي مكثف دائرة التحكم (دائرة التعديل) ، ويستمر في حركته الى الامام ولكن على شكل مجموعات منفصلة من الالكترونات ، فاذا لم تكن هناك فلتية تحكم ، يمر تيار مستمر في المجمع ، أما اذا سلطت فلتية التحكم ، فان مجموعات منفصلة من الالكترونات تمر في المجمع ، أي تمر نبضات من التيار في دائرة المجمع .

وهذا يعنى أنه يمكن تحويل تيار الالكترونات المستمر الى نبضات من التيار ، ويتوقف تردد هذه النبضات على تردد خلطية التحكم ، فاذا وضعت دائرة تذبذبية أخرى فى طريق تيار الالكترونات للمعدل ، فان حزم الالكترونات المارة خلال شبكتيها تولد ذبذبات بنفس ترددها .

ويجب ملاحظة أن توليد هذه الذبذبات ليس نتيجة لاصطدام الالكترونات بالشبكتين اللتين يكونان مكثف الدائرة الثانية ، بل تتولد هذه الذبذبات نتيجة للشحنات المستحثة فى شبكتي هذا المكثف نتيجة لمرور الالكترونات خلالهما .

ويمكن للصمام الذى يستخدم طريقة تعديل السرعة أن يعمل أيضا فى نطاق التردد اللاسلكى المعتاد ، ولكن تظهر ميزاته عند الموجات السنتيمترية حيث لا يستطيع الصمام العادى أن يعمل .

وصمامات تعديل السرعة المخصصة للنطاق السنتيمترى تستخدم الفجوات الرئيسية كمواثر مؤلفة .

وللحصول على فكرة أوضح عن تشغيل الكلايسترون ، سندرس كيفية تبادل الفعل بين الالكترونات والمجال الكهربائى فى الفجوة الرئيسية .

فاذا تعرض الكترون متحرك فى مجال كهربائى لقوة مضادة من هذا المجال ، فان سرعته تقل وبالتالي تقل طاقته أيضا ، ولكن الطاقة لا يمكن أن تختفى ، لهذا ليس أمامنا الا أن نصل الى أن الطاقة التى فقدها الالكترون لا بد أنها انتقلت الى طاقة المجال الكهربائى ، أى أن قوة المجال لا بد أنها زادت ، أما اذا تسارع الالكترون نتيجة للمجال ، أى اكتسب طاقة ، فان قوة المجال تقل .

من هذا يتضح أنه اذا مر تيار من الالكترونات ذو شدة ثابتة فى مجال يتغير دوريا مع الزمن (مثل المجال بين شبكتي فجوة التعديل فى الكلايسترون) فان المجال فى المتوسط لا يفقد طاقة ولا يكتسب طاقة ، اذ أن الطاقة التى يفقدها المجال فى نصف دورة يستعيدها فى النصف التالى .

ومن هنا نرى أن تعديل سرعة تيار الالكترونات فى الكلايسترون لا يتطلب الا طاقة صغيرة . ويذهب الجزء الأكبر من هذه الطاقة فى تسخين جدران الفجوة الرئيسية .

ولكن يختلف الأمر بالنسبة للفجوة الثانية ، فجوة الاستقبال .
فاذا كانت هذه الفجوة على مسافة من المعدل تناظر الخط ف (شكل
٢١) ، فإن مجموعات دورية من الالكترونات تمر خلالها ، أى نبضات
دورية من التيار بدلا من تيار مستمر .

فاذا كان التردد الطبيعي للفجوة الثانية قريبا من تردد النبضات ،
فإن ذبذبات تتولد فى الفجوة ، ويضبط طورها أوتوماتيكيا بحيث تكون
الطاقة المتصلة من مجموعات الالكترونات أقصى ما يمكن بالنسبة لتصميم
الفجوة المذكورة .

ويجب ملاحظة أن الذبذبات المتولدة فى الفجوة الثانية لا تتولد على
حساب طاقة المجال المعدل وإنما على حساب بطارية الأنود التى تعطى
تيار الالكترونات سرعته الابتدائية . وتكون وظيفة المعدل تجبير
الالكترونات فى مجموعات ، بدون استهلاك طاقة كبيرة ، بحيث يتحول
التيار المستمر غير القادر على توليد ذبذبات فى الفجوة الى تيار نبضى (★) .

وهكذا يمكن - فى الكلايسترون ذى الفجوتين - الحصول على قدرة
عالية فى الفجوة الثانية باستهلاك قدرة صغيرة فى دائرة المعدل . وهذا
يعنى أن الكلايسترون ذا الفجوتين يمكن أن يعمل كمكبر فى النطاق
الستيمترى .

ولا تقتصر امكانيات الكلايسترون ذى الفجوتين على قدرته للعمل
كمكبر ، فإن نبضات التيار الالكترونى فيه غنية بالتوافقيات (★★) ،
ولذلك فاذا ولقت الفجوة الثانية على توافق من توافقيات تردد المعدل
بدلا من موافقتها على التردد الأصل ، فإن ذبذبات تتولد فيها أيضا .
وبهذا يمكن أن يعمل الكلايسترون ذو الفجوتين كمضاعف للترددات .

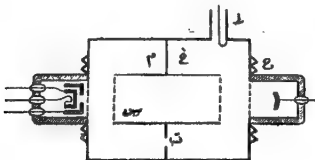
وبالطبع يمكن أن يعمل الكلايسترون كمذبذب ذاتى الاثارة .
ولتشغيله هكذا لا نحتاج الا الى دائرة تغذية مرتدة بحيث يغذى جزءا من
طاقة الفجوة الثانية للمعدل ثانيا (شكل ٢٢) ويمكن الحصول على
التغذية المرتدة بعدة طرق ، مثل استخدام كابل خارجى متحد المحور .

(★) وهذا يشبه الى حد ما عمل الشبكة فى الصمام المفرغ العادى - فبوساطة الشبكة
التي تستهلك طاقة صغيرة ، يمكن التحكم فى تيار أنود الصمام ، أى التحكم فى كيفية
استهلاك طاقة منبع فلطية الأنود .

(★★) هى الترددات التى تزيد بمقد صحيح من المرات (بدون كسور) على التردد
الأساسى . وهو أقل تردد لجهاز الأرسال أو اللدليل حال التردد .

أو باستخدام انشوطية أو مجس أو ثقب يصل ما بين الفجوتين كما
فى (شكل ٢٢) •

ولكن على الرغم من جميع هذه الميزات التى يتميز بها الكلايسترون
عن الصمامات العادية ، فإنه لا يخلو من العيوب ، فإنه صعب فى الانتاج
والموافقة •



(شكل ٢٢) : تصميم مدبب الكلايسترون ذى الفجوتين •
م - فجوة العمل خ - فجوة الخرج د - لب التغذية المرتدة •
س - حيز الانسياب ج - المجمع ط - خرج الطاقة •

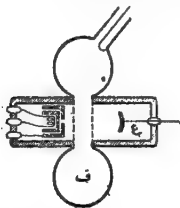
غوالفة تردد كلايسترون ذى فجوتين تتطلب موافقة فجوتين فى
وقت واحد • وتتم الموافقة بتغيير حجم كل فجوة ، ويحد تعقيد هــم
العملية والدقة الميكانيكية العالية المطلوبة من استخدام الكلايسترون
ذى الفجوتين • ولا يستخدم هذا الكلايسترون فى الوقت الحالى الا فى
مضاعفة التردد والتكبير •

وبالاضافة الى الكلايسترون ذى الفجوتين هناك أيضا الكلايسترون
ثلاثى الفجوات والكلايسترون الانتقالى متعدد الفجوات • وتستطيع هذه
الأنواع من الكلايسترون أن تولد ذبذبات نبضية ذات قدرات عالية جدا
فى نطاق الترددات فوق العالية •

ويستخدم ما يسمى بالكلايسترون الاعتكاسى فى توليد ذبذبات
منخفضة القدرة فى المدى السنتيمترى ، وقد طوره ن • د • ديفييا تكوف
وف • ف • كوفالنيكو (١٩٤٠) •

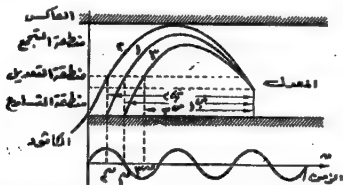
والميزة الأساسية للكلايسترون الاعتكاسى هو أنه يحتاج فى تشغيله
الى فجوة واحدة تعمل كفجوة تعديل وفجوة خرج فى وقت واحد •

وحتى يمكن أن نجعل الالكترونات تمر مرتين بين شبكتي نفس الفجوة الواحدة يستخدم قطب عاكس • وبمعكس مجمع الكلايسترون ذى الفجوتين الذى يتصل هو والفجوتان بالطرف الموجب للبطارية . يجب أن يكون جهد العاكس كبيرا بالدرجة الكافية وسالبا بالنسبة للكاثود • وفى هذه الحالة لا تصطدم الالكترونات التى تكون قد تسارعت فى الحيز الموجود بين الكاثود والفجوة (شكل ٢٣) ومرت خلال شبكتيها بالعاكس بل تنبسط باقترابها منه تدريجيا ، ثم تتوقف ثم تتسارع عائدة الى الفجوة ، ونتيجة لهذا تعود الالكترونات الى الفجوة بنفس السرعة التى غادرتها بها •



(شكل ٢٣) : تصميم الكلايسترون العاكس
ف - الفجوة ع - العاكس

وقد أظهرت التجربة أنه عند قيم معينة للفولتيات المسلطة على أقطاب الكلايسترون (تعتمد على أبعاده) يمكن أن نجعل كل الالكترونات التى تمر بالفجوة أثناء أحد نصفي دورة مجالها (شكل ٢٤) تعود اليها



(شكل ٢٤) : التمثيل البياني لعملية تجميع الالكترونات فى الكلايسترون العاكس •

معا تقريبا . ويلاحظ أن الكلايسترون الاعتكاسى - يعكس الكلايسترون ذى الفجوتين - يجمع الالكترونات حول الالكترون الذى يمر خلال الفجوة عندما يكون المجال فيها صفرا أثناء تحوله من مجال تسارع الى مجال تباطؤ (انظر شكل ٢١ ، ٢٤) .

ومن السهل التوصل الى أن الكلايسترون الاعتكاسى يبدأ فى التذبذب تحت ظروف التشغيل المناسبة بدون أى وسائل مساعدة مثل التغذية المرتدة . فإذا غذى الكلايسترون بالفلطيات الملائمة ، لا يمكن أن يظل تيار الالكترونات فيه ثابتا ، ويولد أصغر تغير عشوائى فى قيمة التيار وكذلك النبضات الكهربائية العشوائية المفاجئة استثارة ذاتية فى الكلايسترون . ويسبب اصغر تغير فى فلتية الفجوة تعديلا فى تيار الالكترونات وتبدأ الالكترونات فى التجمع .

وفى الظروف الملائمة ، تعطى المجموعات المتكونة من الالكترونات كمية معينة من الطاقة للفجوة على حساب بطارية الأنود وبذلك تزيد قيمة فلتية الفجوة التى كانت صغيرة فى البداية ، ونتيجة لهذا تتكون مجموعات أكبر من الالكترونات وتزيد استثارة الفجوة ، وبهذه الطريقة تزيد الذبذبات فى الكلايسترون حتى تعادل الطاقة المستهلكة من البطارية مع مجموع الطاقة المفقودة فى تسخين جدران الفجوة والطاقة المغناطيسية الكهربائية المشعة منها ٠٠٠٠ الخ .

وهكذا نرى أن الالكترونات المتجمعة فى مجموعة واحدة تعطى الفجوة - عند عودتها اليها - طاقة اضافية على حساب بطارية الأنود التى سارعت الالكترونات فى البداية . وأثناء عودة الالكترونات ، يتم تجميعها بوساطة تعديل سرعة مجموعة الالكترونات الأولى التى خرجت من نفس الفجوة بدون أن تفقد كمية تذكر من الطاقة .

وبهذا نرى أن ميكانيكية جميع الالكترونات فى الكلايسترون الاعتكاسى تنظر عملية التغذية المرتدة ، ولهذا لا يحتاج توليد الذبذبات فيه لوسائل اضافية .

ونظرا لأن فجوة الكلايسترون الاعتكاسى تقوم بتعديل الطاقة واستقبالها ، فإن موالفته بسيطة للغاية .

ومن السمات الرائعة للكلايسترون الاعتكاسى امكان تغيير تردد التذبذب كهربائيا وذلك بتغيير جهد العاكس تغيرا صغيرا اذ يكفى - لتغيير

تردد التذبذب - أن يتغير زمن انتقال الالكترونات في منطقة التجمع قليلا ، وهذا يغير قيمة الفلظية اللحظية للفجوة عند عودة مجموعة الالكترونات .
في منطقة التجمع قايلا ، وهذا يغير قيمة الفلظية اللحظية للفجوة عند عودة مجموعة الالكترونات .

ويعنى هذا أن طور التيار الذى تستحثه مجموعات الالكترونات في الفجوة سيتزحزح بالنسبة لفلظية الفجوة بقيمة اضافية معينة ، وهذه الزحزحة في الطور تناظر اضافة مركبتين احدهما ذات طبيعة فعالة والاخرى مفاعلة ، وتسبب المركبة المفاعلة تغيرا في التردد المولد في الكلايسترون ، بينما تناظر المركبة الفعالة قدرة اضافية ضائعة في الفجوة تقلل من اتساع ذبذباته .

هذه الموالفة الالكترونية لتردد الكلايسترون تناظر الى حد ما الارتباط بين التردد وقيمة التغذية المرتدة ، اذ لا ينطبق التردد المولد بوساطة مذبذب صمامى في الحقيقة على تردد رنين الدائرة الموالفة بل يختلف عنه بمقدار يتحدد من المكونات المفاعلة الاضافية التى تضيفها عناصر المذبذب الأخرى - وخصوصا دائرة التغذية المرتدة - الى الدائرة .

فاذا غيرت التغذية المرتدة ، فإن اتساع الذبذبات - الذى يعتمد على قيمة المقاومة السالبة التى تضيفها دائرة التغذية المرتدة - لا يتغير وحده بل يتغير أيضا تردد المذبذب نتيجة للتغير في قيمة الممانعة المفاعلة المضافة الى الدائرة .

وكما رأينا ، تولد مجموعات الالكترونات العائدة الى الفجوة تيارات فيها ويكون طورها مزحزحا لفلظية الفجوة ، وهذه التيارات تناظر تماما تلك التى تضيفها دائرة التغذية المرتدة الى الدائرة الموالفة فى المذبذب العادى . كما أنها تضيف أيضا مقاومة سالبة ذات قيمة محددة وهى التى تحدد اتساع ذبذبات الكلايسترون وممانعة مفاعلة تحدد الفرق بين التردد المولد وتردد رنين الفجوة .

وبالطبع يكون الفرق النسبى بين التردد المولد وتردد الرنين صغيرا جدا بحيث يقع فى حدود متحتى رنين الفجوة .

وهكذا يكفى تفسير طور رجوع مجموعة الالكترونات الى الفجوة ليتغير تردد ذبذبة الكلايسترون كما يرى من (شكل ٢٤) ، ولهذا الغرض يجب تغيير زمن انتقال الالكترونات في منطقة التجميع - التى تحدد سرعتها الابتدائية - بتغيير فلظية أنود الكلايسترون وجهه العاكس .

ونتيجة لهذا نرى أن التردد المولد في الكلايسترون لا يعتمد على ثوابت الفجوة فقط بل وعلى هاتين الفلظيتين أيضا ، ويلاحظ أن تأثير تغيير جهد العاكس يزيده كثيرا على تأثير تغيير فلظية الأنود .

وقد انتشر استخدام الكلايسترون الاعتكاسي في الدوائر المختلفة في معدات النطاق السنتيمترى نظرا لسهولة الموازنة الالكترونية وبساطتها وعولها ، فيستخدم مثلا كمذبذب محلي في أجهزة استقبال الرادار وأجهزة القياس المختلفة والتحليل الطيفي اللاسلكي . . . الخ .

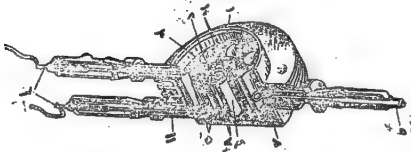
ويمكن استخدام الكلايسترون الاعتكاسي في مضاعفة تردد المذبذبات أو توليد كسور هذا التردد أيضا .

وكما في صمامات الراديو العادية ، يشارك كل الكترون في تشغيل الكلايسترون مرة واحدة فقط . ففي الصمام المعتاد ، يمر كل الكترون - بعد انقذافه من الكاثود - خلال الشبكة ويصطدم بالأنود ، وفي الكلايسترون الاعتكاسي ، يمر الالكترون - بعد انقذافه من الكاثود وتسارعه نتيجة لمجال التسارع - خلال الفجوة الى منطقة التجميع ، ثم يمر ثانية في الفجوة بعد أن يطرده العاكس كجزء من مجموعة الالكترونات .

وبهذا الاستخدام لمرة واحدة ، يكون من الصعب نقل جزء كبير من الطاقة التي أخذت من الالكترون من مجال التسارع الى المذبذبات الكهربائية .

وقد وجد العلماء طريقة أخرى للحصول على موجات لاسلكية قصيرة جدا ، فقد ابتكر صمام جديد يسمى الماجنترون يتم التحكم في تيار الالكترونات فيه بواسطة مجال مغناطيسي مع مجال كهربائي . ونتيجة لاستخدام مجال مغناطيسي يمكن أن يشترك كل الكترون في توليد المذبذبات الكهربائية عدة مرات ، اذ لا يسمح المجال المغناطيسي الذي تتعامد خطوط قواه مع خطوط المجال الكهربائي للالكترونات بالسير في خط مستقيم من الكاثود الى الأنود كما قد تفعل بدونه : بل يسير كل الكترون في الماجنترون في مسار معقد حول الكاثود قبل أن يصطدم بالأنود . وتكتسب الالكترونات أثناء سيرها في هذا المسار طاقة من المصدر الذي يغذي الماجنترون بالتيار المستمر عالي الفلظية . وعندما تنتفي العلاقات المناسبة بين قيمتي المجالين الكهربائي والمغناطيسي ، تتولد مذبذبات كهربائية في الماجنترون ، وبتأثير هذه المذبذبات ، تتجمع

الإلكترونات المنبعثة من الكاثود فى مجموعات تدور حول الكاثود كما تفعل أذرع (برامق) العجل عندما تدور ، وتولد هذه المجموعات - فى دوراتها - ذبذبات مغناطيسية كهربائية عالية القدرة فى الفجوات الموجودة فى أنود الماجنترون (شكل ٢٥) .



(شكل ٢٥) : تصميم الماجنترون .

- | | |
|--------------------------|--------------------------------|
| ١ - أنود | ٢ - الفجوات الرئيسية |
| ٣ - شقوق | ٤ - الكاثود |
| ٥ - ماسكات الكاثود | ٦ - الجزء الخارجى لخارج القناة |
| ٧ - شبكات على شكل أقراص | ٨ - وصلة إخراج الطاقة |
| ٩ - مخرج الطاقة | ١٠ - وصلات |
| ١١ - زعانف لتبريد الأنود | |

وفى نفس الوقت ، تتحرك موجة مغناطيسية كهربائية فى الفراغ الموجود بين كاثود الماجنترون وأنوده بسرعة تقرب من سرعة دوران مجموعات الإلكترونات .

وهذا يضمن بالطبع تبادل الفعل بين مجموعات الإلكترونات والموجة تبادلًا جيدًا ، ونتيجة لهذا تتحول الطاقة المستهلكة فى تغذية الماجنترون الى طاقة موجات لاسلكية ، ويتم هذا التحويل بكفاءة عالية .

وقد وصل طول أقصر الموجات اللاسلكية التى تم الحصول عليها بواسطة الماجنترون الى عدة ملليمترات .

وباستخدام وسائل خاصة ، أمكن الحصول من الماجنترون على نبضات قصيرة من الموجات اللاسلكية تصل قدراتها الى عدة آلاف من الكيلوات (أى كقوة محرك طائرة) . وجدير بالذكر هنا أن جهاز الإرسال الذى يولد هذه النبضات القوية جدًا لا يزيده فى حجمه عن صندوق الأدراج (الثنائون) العادى . وبهذا كان اختراع الماجنترون -

الذى طورت أولى نماذجها التى صنعت فى الاتحاد السوفيتى على يدى
ن.ف. الكسييف و د. ي. مالىاروف فى سنة ١٩٣٦ - حلا عبقرى
لمشكلة الحصول على الموجات اللاسلكية اللازمة للرادار .

وقد أثبت الماجنترون أخيراً أنه لا يصلح فى التوليد فحسب ، بل
فى تكبير الذبذبات عالية التردد أيضاً .

وقد ابتكرت عدة صمامات أخرى للعمل فى مدى الترددات فوق
العالية جداً ، وأكثر هذه الأنواع شيوعاً هو أنبوب الموجة المتحركة . وفى
هذه الأنابيب ، تتبادل الالكترونات الفعل أيضاً مع موجة مغناطيسية
كهربائية متحركة ، وهذه الموجة لا تتحرك فى دائرة كما فى الماجنترون
بل على العكس ، تتحرك بطول الأنبوب فى نفس اتجاه سير الالكترونات ،
وتجمع الموجة الالكترونات فى مجموعات ، وتولد الالكترونات المتجمعة
ذبذبات مغناطيسية كهربائية فى غرفة خرج الأنبوب وتعطيها طاقتها
كلها .

ويلاحظ أن تبادل الفعل بين مجموعات الالكترونات وموجة
مغناطيسية كهربائية متحركة سمة مشتركة بين الماجنترون وأنبوب الموجة
المتحركة ، إلا أن الالكترونات تسير فى أنبوب الموجة المتحركة فى خطوط
مستقيمة وليس فى خطوط منحنية لعدم وجود مجال مغناطيسى مستعرض
وحتى تكون كفاية تبادل الفعل بين الالكترونات والموجة كبيرة يجب أن
تكون سرعة الالكترونات فى أنبوب الموجة المتحركة قريبة من سرعة الموجة
المغناطيسية الكهربائية ، تماماً كما فى حالة الماجنترون .

ولكن اذا أريد زيادة سرعة الالكترونات الى أن تصل الى ما يقرب
من سرعة الموجة المغناطيسية الكهربائية (سرعة الضوء) ، لوجب
اكسابها طاقات جبارة ، وهذا يقلل الى حد كبير من كفاية الصمامات
الالكترونية التى تعتمد على تبادل الفعل بين مجموعات من الالكترونات
وموجة متحركة ، ومع ذلك توصل العلماء الى طريقة عبقرية للتغلب على هذه
الصعوبة .

فبدلاً من زيادة سرعة الالكترونات الى سرعة هائلة باستخدام فطيات
عالية جداً ، يمكن إبطاء سرعة الموجة المغناطيسية الكهربائية ، وبالطبع
لا يمكن أن نبطئ سرعة موجة مغناطيسية كهربائية فى الفراغ ، كما
لا يمكننا فى هذا المجال استغلال تلك الخاصية التى تجعل سرعة الموجات
المغناطيسية الكهربائية فى العوازل (مثل الزجاج) أقل منها فى الفراغ .
اذ لا يمكن الحصول على مجموعات من الالكترونات عالية السرعة فى عازل .

ومع ذلك يمكن أن نبطئ سرعة الموجات المغناطيسية الكهربائية .
ويكفى - لهذا - أن نرسل هذه الموجة في سلك على شكل حلزون ، إذ
بينما تسير الموجة على لغات السلك بسرعة تقرب من سرعة الضوء في
الفراغ . تتحرك بطول محور الحلزون بسرعة أقل ، وتقل هذه السرعة
كلما كانت اللغات قريبة بعضها الى بعض . وبهذه الطريقة يمكن إبطاء
سرعة الموجة المغناطيسية الكهربائية المتحركة بطول محور الحلزون حتى أن
الالكترونات التي تتسارع بفعل فلطية لا تزيد على عدة مئات من الفلطات
يمكنها أن تتحرك بسرعة الموجة .

ويصل طول أنابيب الموجة المتحركة التي تعمل في مدى الموجات
السنتمترية من عشرة سنتيمترات الى ثلاثين . وحتى يمكن أن تسير
حزمة الالكترونات الضيقة مثل هذه المسافة بطول محور حلزون ضيق ،
يوضع الأنبوب بأكمله داخل ملف مغناطيسي كهربائي على أن يكون في
محور الملف تماما . وينطبق اتجاه المجال المغناطيسي الثابت مع اتجاه
المجال الكهربائي داخل الأنبوب (بينما يتعامدان في الماجنترون) ، وهذا
يجعل الالكترونات تسير بطول محور الأنبوب .

ويستهلك المغناطيس الكهربائي اللازم لتشغيل أنبوب الموجة المتحركة
قدرة عالية نسبيا كما يزيد وزنه على وزن الأنبوب نفسه بمئات المرات ،
وكذلك يصعب استخدام هذه الأنابيب نظرا لضرورة احكام وضع الأنبوب
بطول محور المغناطيس الكهربائي تماما .

وقد طور معهد الهندسة اللاسلكية والالكترونية التابع لأكاديمية
العلوم بالاتحاد السوفيتي طرازا جديدا من أنبوب الموجة المتحركة لا يحتاج
الى ملف تركيز بؤري مغناطيسي . ففي هذا الأنبوب - الذي يسمى
السيراترون - يوضع داخل حلزون التباطؤ ويطول محوره سلك رفيع
مشدود ، ويكون جهده هذه السلك أعلى من جهده الحلزون نوعا ما ، فإذا
قذف تيار من الالكترونات من مدفع الالكترونات العادي بين الحلزون وهذا
السلك بحيث يكون موازيا له ، تسير معظم الالكترونات بسرعة على هذا
السلك ، وحتى لا يحدث هذا ، طور المصممون مدفع الكترونات خاص
يقذف الالكترونات في مسارات حلزونية ترتب بحيث تكون بين السلك
المركزي وحلزون التباطؤ ، فتمنع القوة المركزية الطاردة الالكترونات من
الاستقرار على السلك ويتحرك معظمها بحرية على طول حلزون التباطؤ
بأكمله . وقد كان هذا النوع من التركيز البؤري الاستاتيكي الكهربائي
بالقوة المركزية الطاردة سببا في الارتقاء بصناعة أنابيب الموجة المتحركة
الخفيفة بصورة مرضية يمكن الاعتماد عليها .

وفي نفس الوقت تمكن العلماء والمهندسون من حل مشكلة استقبال هذه الموجات القصيرة المعقدة .

وقد كانت مشكلة الحصول على أشعة ضيقة من الموجات اللاسلكية صعبة بصفة خاصة في الستين الأولى لتطوير الرادار ، عندما كانت أطوال الموجات المستخدمة عدة أمتار . فقد كان تصميم العواكس التي يصل حجمها الى ما يلزم لتجميع هذه الموجات في أشعة ضيقة خارج إمكانيات ذلك الوقت ، فقد كان يجب عليها أن تكون كبيرة جدا وثقيلة وقبيحة الشكل . لهذا كان يجب أن تسير الحلول في طريق تصميم هوائيات خاصة تصنع بأشكال معقدة تشبه الحصر المعدنية ، وقد تناولنا طريقة عمل مثل هذه الهوائيات من قبل .

ولكن عندما صغرت أطوال الموجات كنتيجة لتطور الرادار صغرت أبعاد الهوائيات أيضا . وفي سنة ١٩٣٩ ظهرت أولى منشآت الرادار التي تعمل بموجة طولها ٥٠ سنتيمترا . وقبله زودت هذه المنشآت بهوائيات تشبه مرآة مقعرة ضخمة ، وحتى يقل الوزن الى أقصى حد ممكن ، كانت الأسطح العاكسة تصنع - في بعض الأحيان - من شبكة من السلك بدلا من الألواح المعدنية .

أما هوائيات أجهزة الرادار المعاصرة التي تعمل بموجات طولها عشرة سنتيمترات وثلاثة فعبارة عن عواكس معدنية كبيرة على شكل قطع مكافئ تشبه الى حد كبير الأضواء الكاشعة . وهي تشع شعاعا من الموجات اللاسلكية لا يزيد في عرضه عن شعاع الضوء الكاشف المعتاد . وتخترق هذه الموجات اللاسلكية - يعكس موجات الضوء المرئي - أشد الضباب كثافة وكذلك السحاب والدخان . ولهذا السبب يمكن أن يعمل الرادار في أي جو ، ليلا أو نهارا .

وتسمح الأشعة الضيقة من الموجات اللاسلكية التي يشعها هوائي الرادار الأفق ، ويظهر اتجاه الهوائي على شاشة أنبوب أشعة المهبط بصفة مستمرة ، وبهذا يمكن لمعامل الرادار أن يحدد الاتجاه الصحيح الدقيق للهدف الذي يعكس الموجات اللاسلكية .

وقد ظل أنبوب أشعة المهبط الذي اخترعه كارل براون سنة ١٨٩٧ لزمن طويل مجرد أداة اضافية مفيدة في الأبحاث الفيزيائية ، ولكن سرعان ما بلغ أنبوب أشعة المهبط درجة الكمال بمجرد ظهور التليفزيون ، ويمكن الآن أن تؤكد أنه لولا أنابيب أشعة المهبط الحديثة لما كان هناك رادار .

فقد كان أنبوب أشعة المهبط بالذات هو الذى ساهم فى حل واحدة من أعقد المشاكل التى واجهت الرادار ، ألا وهى مشكلة قياس الفترات القصيرة جداً من الزمن بدقة وسهولة . ولهذا الغرض ، تزود ألواح الانحراف الأفقى فى أنبوب أشعة المهبط بفلطية من مولد خاص يسمى مولد المسح . وهذه الفلطية تجعل شعاع الالكترونات يسير بسرعة عبر شاشة الأنبوب من اليسار إلى اليمين بحيث يكون خطا متوهجا مستقيما . وعندما يصل شعاع الالكترونات الى الحافة اليمنى ، يعود فى الحال الى الحافة اليسرى ليستأنف حركته فوراً .

وهكذا يقوم شعاع الالكترونات بدور « المقرب » السريع جداً فى هذه « الساعة الالكترونية » التى تستطيع أن تبين الأجزاء من المليون من الثانية . ويتحرك هذا « المقرب الالكترونى » فى خط مستقيم ، بعكس عقارب الساعات العادية التى تتحرك بسرعة ثابتة على الوجه المستدير للساعة . وهكذا يمكن إذا قسمنا ذلك الخط الالكترونى حسب مقياس خاص ، أن نحصل على « وجه » أيضاً ولكنه مستقيم فى هذه الحالة وليس مستديراً .

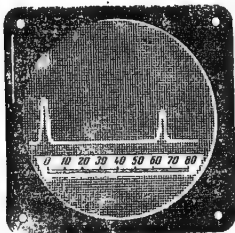
ويتحرك هذا « المقرب الالكترونى » بسرعة كبيرة حتى أن العين لا تلاحقه . وهذا يعنى أنه بدون وسائل خاصة لا يمكن معرفة الوقت بهذه الساعة . وللتغلب على هذه الصعوبة ، قام المهندسون بما يلى :

ضبطت حركة شعاع الالكترونات بحيث تناظر تماماً تشغيل جهاز ارسال الرادار . فبمبدأ الشعاع حركته فى نفس اللحظة التى ترسل فيها اشارة نبضية . ثم تنتقى سرعة الحركة بحيث يصل الشعاع الى الحافة اليمنى فى نفس الوقت الذى يصل فيه صدى الاشارة المنعكس من الأهداف الموجودة عند نهاية مدى الجهاز . وفى لحظة ارسال الاشارة تظهر نبضة ضيقة فى النهاية اليسرى للخط المتوهج على شاشة الرادار . فإذا ظهر هدف فى حدود مدى الرادار ، يستقبل جهاز الاستقبال الموجات اللاسلكية المنعكسة منه وتظهر نبضة أخرى أصغر من الأولى على الخط المتوهج .

وبمعرفة سرعة حركة الشعاع الالكترونى عبر الشاشة ، يمكن حساب الزمن الذى استغرقته الموجة اللاسلكية فى الوصول الى الهدف والعودة بقياس المسافة بين النبضتين .

ولما كانت سرعة الموجات اللاسلكية معروفة ، فإنه يمكن تحويل هذا الزمن بسهولة الى بعد الهدف . وتزود شاشة الأنبوب الالكترونى

بمقياس يعطى المسافة بالمتر أو الكيلو متر بالدقة المطلوبة لهذا النوع من الرادار. (شكل ٢٦) .



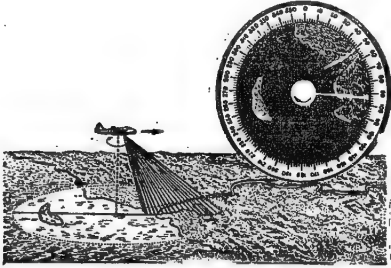
(شكل ٢٦) : شاشة جهاز استقبال رادار وبها مقياس المدى . وتمثل النبضة اليمى النبضة المنعكسة من الهدف .

وبهذا لا يحتاج عامل الرادار الى القيام بأية حسابات ، اذ يمكنه أن يقرأ - ببساطة - المقياس ليحصل على المسافة المناظرة لمكان النبضة الثانية التى تنتجها اشارة الصدى .

ويمكن الرادار المدفعية أن يحدد المسافة بدقة تصل الى عدة أمتار أى أسرع وأدق مما تفعل أجهزة تعيين المرمى البصرية . ولكن لايجاد الهدف بسرعة بالاستعانة بمثل هذا الجهاز الدقيق لتحديد المسافات ، يجب استخدام جهاز تحديد مسافات مساعده له زاوية شعاع أكبر ، تماما كما يفعل الفلكيون عندما يستخدمون منظارا اضافيا ضعيفا لتوجيه التلسكوب الأقوى . وعادة يمكن تشغيل هوائى الرادار بحيث يتحول من البحث بشعاع واسع الى البحث بشعاع ضيق من الموجات اللاسلكية وبالعكس .

وقد ظهر أخيرا نوع آخر من الرادار انتشر استخدامه كثيرا ، وهو الذى يسمى رادار بيان الموقع الاسقاطى (شكل ٢٧) . وتدور هوائيات أجهزة الرادار هذه حول محور رأسى باستمرار ، ويمسح شعاعه اللاسلكى الأفقى جميعه .

ولا يتحرك الشعاع الالكتروني في مابين المواقع الاسقاطي من الحافة للحافة ، وانما من مركز الشاشة الى محيطها ، وفي نفس الوقت يتحرك الخط الذي يرسمه الشعاع ببطء حول مركز الشاشة مثلما يفعل عقرب الساعة . وتكون هذه الحركة مناظرة تماما لحركة هوائي الرادار، بحيث يكون الخط المتوهج دائما في نفس الاتجاه الذي يشع فيه الشعاع اللاسلكي من الهوائي .



(شكل ٢٧) شاشة مابين المواقع الاسقاطي .

وتبين الاشارات المنعكسة على شاشة محطة بيان الموقع الاسقاطي بطريقة تختلف عن المعتاد أيضا .

فهناك دائرة خاصة تمنع خروج الالكترونات من مدفع الالكترونات في حالة عدم وجود اشارة صدى وتظل الشاشة مظلمة فيما عدا البقعة التي في مركزها التي تدل على اشعاع الاشارة وعلى أن الجهاز يعمل ، ويستمر الجزء من الجهاز الذي يحرك شعاع الالكترونات من مركز الشاشة الى حرقها ويديره حولها في العمل حتى ولو كان شعاع الالكترونات محتجبا . بحيث اذا أطلق الشعاع يظهر في نفس المكان الذي كان يظهر فيه لو لم يكن محتجبا . وعندما يصل الصدى ، يفتح جهاز الاستقبال الطريق للشعاع وتظهر بقعة متوهجة على الشاشة . وتناظر المسافة بين هذه البقعة ومركز الشاشة بعد الهدف ، بينما يبين مكانها اتجاهه .

ويدور هوائي الرادار في هذه الحالة ببطء نسبيا ، بحيث يستغرق عدة ثوان لكل دورة . لهذا تكون مراقبة الهدف صعبة وغير مريحة اذا استخدمت أنابيب الصورة التليفزيونية المعتادة في هذا الجهاز ، اذ لا تظهر البقع المتوهجة التي تبين الهدف الا مرة واحدة ولمدة قصيرة جدا في كل دورة من دورات الهوائي . وللتغلب على هذه الصعوبة تغطي شاشات أنابيب مبيئات المواقع الاسقاطية بمادة فلورية ذات مداومة طويلة بحيث لا تختفى البقعة المضيئة المبينة للهدف حتى يكمل الهوائي دورة كاملة و « يضيء » الهدف ثانية بشعاعه اللاسلكي . وتستقبل الاشارات المنعكسة ثانية وتضيء نفس البقعة على شاشة الرادار اذا ما كان الهدف ثابتا .

أما اذا كان الهدف متحركا ، فان الموجات اللاسلكية تجده في الدورة الثانية للهوائي في مكان جديد ، وبالتالي فان بقعة الضوء تنزحزح على الشاشة ، وبهذا تتحرك البقعة المضيئة التي تمثل هدفا متحركا عبر شاشة الأنبوب ويمكن للمشاهد أن يلاحظ حركتها بسهولة .

وبالاضافة الى ظهور بقع الضوء واختفائها وحركتها التي تناظر حركة الأهداف ، تغطي شاشات هذه الأنابيب نوعا من الصورة للأرض المحيطة ، فتظهر جميع الأهداف المعدنية الكبيرة التي تعكس الموجات اللاسلكية جيدا مثل أسطح المنازل والكبارى . الخ كبقع لامعة بينما تظهر الأهداف التي لا تعكس الموجات اللاسلكية جيدا كبقع معتمة .

واذا وضع جهاز بيان الموقع الاسقاطي في طائرة ، تظهر على الشاشة خريطة واضحة للأرض التي تطير فوقها الطائرة ، وتظهر الأنهار والبحيرات كخطوط وبقع معتمة ، وتظهر الأرض أكثر لمعانا والغابات أكثر منها وتظهر الأهداف المعدنية لامعة جدا ، وتعتبر مثل هذه الأجهزة أجهزة ملاحية رائعة تمكن الطائرة من الاهتداء بالمعالم الأرضية بالليل وفي الجحيم الملبد بالغيوم .

وفي سنة ١٩٤٣ ، عندما بدأت الطائرات الانجليزية غاراتها على ألمانيا ، لم تكن تستطيع الاهتداء الى الهدف في معظم الأحيان ، بل لم تكن تستطيع الاهتداء الى منطقة الهدف بأكملها نتيجة للتمويه ، وفي هذه الأيام ضاعت معظم القنابل هباء في الحقول والغابات .

ولكن عندما زودت الطائرات برادار بيان المواقع الاسقاطي ، تمكن الملاحون من العثور على المنطقة والهدف باتباع الأنهار التي كانت تميز

جيذا نظرا لاعتمادها على الشاشة وطرق السكك الحديدية التي كانت تميز
بلمعانها على الشاشة . فاذا حدث أن كان الهدف قنطرة أو سدا ظهر
لامعا بوضوح في وسط سواد النهر ، كما يمكن رؤية المصانع جيذا نظرا
لسطحها المعدني (★) .

وقد ثبت أن طلاء التمويه وشبكات التمويه وظلام الليل لا حول لها
ولا طول أمام « عين الرادار التي ترى كل شيء » ، وقد جعل الرادار
الغارات الليلية والقاء القنابل من الارتفاعات العالية مؤثرا بحق ، وغير
معركة الهواء لصالح الحلفاء بشدة .

وستتناول الوسائل المختلفة للقتال باستخدام الرادار فيما بعد ،
ولكننا سنتكلم الآن عن التداخل مع تشغيل محطات الرادار . وقد
استخدمت تلك الظاهرة الفيزيائية المعروفة في البصريات والصوتيات
بظاهرة دوبلر لكبت هذا التداخل ومعادلة الوسائل المضادة للرادار ،
وتستغنى نفس الظاهرة أيضا في تحديد مواقع الأهداف الأرضية المتحركة
التي يغطيها انعكاس الموجات اللاسلكية من الأرض المحيطة بها عند
استخدام الطرق العادية .

وظاهرة دوبلر عبارة عن تغير تردد موجات الضوء أو الصوت عندما
يكون المراقب أو المصدر متحركا . فاذا كان كل من المراقب والمصدر
مقتربا أحدهما من الآخر ، يلتقي المراقب بعدد من الموجات في الثانية
أكبر مما لو لم تكن هناك حركة ، وهذا يعنى زيادة التردد ، أما إذا كان
كل من المراقب والمصدر مبتعدا أحدهما عن الآخر فإن عدد الموجات
المستقبلة في كل ثانية يقل عما لو لم تكن هناك حركة .

ولا بد أن الكثير ممن يقفون بجوار خطوط السكك الحديدية قد
لاحظوا مثلا صوتيا لظاهرة دوبلر ، فاذا اقترب قطار يطلق صافره
من المراقب ، لا تتغير درجة صوت الصفارة بالرغم من أنها تبدو أعلى
منها في القطار غير المتحرك ، وفي اللحظة التي يمر فيها القطار بجوار
المراقب ويبدأ في التحرك بعيدا ، تتغير درجة الصوت فجأة بحيث
تقل نغمتها . وهذا يعنى أن تردد الصوت الذي استقبله المراقب هبط
فجأة لأن مصدر الصوت بدأ في الابتعاد عنه في هذه اللحظة .

(★) لا تظهر الأسقف المنطاة بالألواح الخشبية لامة مثل تلك الحديدية ، ومع ذلك
يمكن للمراقب التعرف أن يكتشفها بسهولة .

ولا يلاحظ المراقب الواقف على مسافة كبيرة من السكة الحديدية
أى تغير فى درجة الصفارة لأن اتجاه حركة القطار بالنسبة له لا يتغير
كثيرا .

وقد تم التأكيد العملى لوجود ظاهرة دوبلر فى البصريات أساسا
أثناء المشاهدات الفلكية التى أظهرت امكانية استخدام هذه الطريقة فى
قياس سرعة النجوم بالنسبة للأرض . وقد قام بيلو بولسكى بأول
الأبحاث العملية على هذه الظاهرة فى سنة ١٩٠٠ ثم جوليتسين فى سنة
١٩٠٧ . وقد استخدم بيلو بولسكى مرآيا دوارة كمصدر متحرك ،
فعندما تتحرك المرآة ، يبدو مصدر الضوء كما لو كان متحركا بسرعة
تساوى ضعف سرعة المرآة لأن الطريق الذى يقطعه الضوء من المصدر
الى المراقب يقل بسرعة تعادل ضعف السرعة التى تقل بها المسافة من
المراقب الى المرآة . وباستخدام تصميم عبقري للمرآة ، لم يبين بيلو بولسكى
ظاهرة دوبلر عمليا فى معمله فحسب بل أكله الأرقام التى تنبأت بها
النظرية بدقة كبيرة .

ويفسر التكنيك الذى اتبعه بيلو بولسكى طريقة استخدام ظاهرة
دوبلر فى الرادار للتفريق بين الأهداف المتحركة والثابتة ، وينظر هدف
الرادار المتحرك المرآة المتحركة .

والخلاصة أنه نتيجة لظاهرة دوبلر ، يختلف تردد الموجات
اللاسلكية المنعكسة من الأهداف المتحركة نحو جهاز الرادار أو بعيدا
عنه عن ذلك الذى يشعه الجهاز . ويعتمد فرق التردد هذا على النسبة
بين سرعة اقتراب الهدف العاكس أو ابتعاده وسرعة الضوء ، ولهذا يكون
هذا الفرق صغيرا جدا ولا تستطيع أجهزة الاستقبال اللاسلكية العادية
أن تشعر به ، فهى تستقبل الاشارات التى لم يتغير ترددها والمنعكسة
من الأهداف الثابتة وكذلك الاشارات التى تغير ترددها من الأهداف
المتحركة فى وقت واحد .

وقد ابتكرت أجهزة استقبال خاصة لاستغلال ظاهرة دوبلر ،
ولا تستقبل هذه الأجهزة - نتيجة لاستخدام دوائر خاصة - الموجات
اللاسلكية التى بنفس التردد الذى يشعه جهاز ارسال الرادار والمنعكسة
من الأهداف الثابتة . وتمرر هذه الدوائر أساسا الاشارات ذات التردد
المختلف بحيث تظهر شاشات رادار دوبلر اشارات الصدى من الأهداف
المتحركة أوضح من الاشارات المنعكسة من الأهداف الثابتة .

وكانت النتيجة أن ظهرت صور المركبات المتحركة بوضوح على شاشات رادار دوبلر بينما تختلط بصور الأشياء المحيطة بها في الأجهزة العادية .

معركة الرادار

يسبق الاختراعات الكبرى تطور تدريجي في العلوم والهندسة ، وقد اعتمد الرادار على أسس معروفة كما أنه يستخدم مكونات تنتج في معظم الدول بكميات كبيرة ، لهذا لم يكن عجباً أن يتطور الرادار في كل الدول الصناعية في وقت واحد .

وفي سنة ١٩٣٩ كان لدى ألمانيا بالفعل حوالي ٦٠٠٠ جهاز رادار تعمل على موجة طولها ٥٠ سنتيمترا ، وفي عملية دنكرك ، أسر الألمان عينات من معظم أنواع الأسلحة الانجليزية ، وكان بينها أجهزة رادار انجليزية تعمل على موجات طولها ٣ - ٤ متر ، فاقتنع الألمان بأن الأنواع الانجليزية أردأ بكثير مما يملكون ، فأوقفوا كل الأبحاث المقصود منها اتقان تكنيك الموجات السنتيمترية .

وقد أثبت سير الحرب أن غطرسة جنرالات هتلر كلفتهم غالبا في هذا المجال أيضا فقد تأخروا في صناعة الرادار بشكل ميثوس منه .

وفي سنة ١٩٣٩ ، سبب تفوق ألمانيا في الرادار خسارة للانجليز والأمريكيين بلغت ١٠ - ١٢٪ من قاذفات القنابل المشتركة في كل غارة كبرى على ألمانيا . فأصبحت مسألة إيجاد وسيلة لمقاومة الرادار ضرورة ملحة .

ثم وجه العلماء طريقة جميلة لتضليل العدو . ففي يوم ما تلقى أحد أسراب قاذفات القنابل أمرا لحمل أقال من سلاح سرى جديد بدلا من القنابل وذلك قبل غارة من الغارات الكبرى على ألمانيا . وكم كانت دهشة رجال التسليح الذين عملوا في تعبئة الطائرات عندما وجدوا أن ما طلب منهم أن يضعوه في الطائرات لم يكن سوى رزم من الورق الخفيف مثل رزم النشرات المطبوعة .

وطار السرب الى هدفه ، وقبل اقلاع قاذفات قنابل الحلفاء الرئيسية ببضع دقائق دوى صوت صفارات الانذار في معظم مناطق

ألمانيا ، اذ أبلغت عدة محطات للرادار عن عدد ضخم من طائرات الحلفاء تتحرك نحو حوض نهر الرور - أحد المراكز الصناعية الكبرى في ألمانيا - من عدة جهات ، وقد أبلغ المراقبون في محطات الرادار عن عشرات الآلاف من الطائرات . ودب الذعر في القلوب ، وصدرت الأوامر الى الطائرات المقاتلة بالاقلاع لاعتراض الطائرات المغيبة بدون أن تدرى القيادة الألمانية الى أين ترسلها .

وبعد ساعة تقريبا كان الوقود قد نفذ من المقاتلات ولم تكن القيادة الألمانية قد فهمت بعد غرض هذه الكميات الضخمة من طائرات العدو ، اذ بدلا من أن تطير الى أهدافها مباشرة ، ظلت تحوم ببطء في الأماكن التي اكتشفت فيها ، وزاد التوتر في القيادة الألمانية ، وفي هذا الوقت كانت القوات المتحالفة قد اتجهت الى الشمال ووجهت ضربة من أعنف الضربات الى هامبورج . وذهل الألمان ، بينما لم يتكبد الحلفاء أى خسائر تقريبا .

ولم يتضح الأمر الا في الصباح التالي عندما وجدت أشرطة من الورق ملصق بها رقائق من الألومنيوم على الأرض (*) . فقد أسقطت طائرات الحلفاء كميات كبيرة من هذه الأشرطة ، وأظهرت موجات أجهزة الرادار الألمانية عندما انعكست من هذه الأشرطة اشارات على شاشات الرادار تشبه تلك التي تولدها الأعداد الكبيرة من الطائرات .

وقد أثبتت هذه الوسيلة الجديدة أنها فعالة جدا ، ومنذ ذلك الحين اعتاد الحلفاء أن يسقطوا كميات كبيرة من الورق المغطى بالرقائق المعدنية قبل كل غارة مما يريك الدفاع المضاد للطائرات الألماني . وكانت الطائرات المتقدمة تسقط أحيانا هذا الورق المغطى برقائق المعدن ، وكان هذا يغطي الطائرات التي تتلوها بما يشبه « شبكة التجميد » ، اذ تولد موجات الرادار المنعكسة من الورق سحباً على شاشات الرادار بسبب هذا الورق المغطى بالرقائق المعدنية لا يستطيع المراقبون أن يروا خلالها الطائرات . وكان نتيجة لهذا أن انخفضت خسائر اسراب قاذفات القنابل بشكل ملحوظ .

ويسمح رادار دوبلر برؤية ضور الطائرات المتحركة عبر اشارات التشويش الناتجة من الأشرطة التي تكون عديمة الحركة تقريبا .

(*) بالإضافة الى الورق الملصق به شرائح من الألومنيوم ، تستخدم رقائق من الألومنيوم بكثرة أيضا .

ومن وسائل مكافحة الرادار التي انتشر استخدامها أيضا التشويش على رادار العدو بتشغيل جهاز ارسال بنفس تردد محطة الرادار الخاصة به . فعندما يعمل جهاز الارسال هذا ، لا تستطيع أجهزة الاستقبال التقاط اشارات الصدى الضعيفة لأنها تكون غارقة في اشارات جهاز ارسال التشويش القوية .

وهناك طريقة أخرى أيضا ، وقد نفذت بالفعل الى حد ما أثناء الحرب ، وهي استخدام طلاء غير عاكس .

فان المواد المختلفة تعكس الموجات اللاسلكية بدرجات مختلفة ، وهناك مواد تعكس الموجات اللاسلكية بضعف شديد ، ولكن يجب أن تكون طبقة المادة الممتصة سميكة نسبيا إذا أردنا أن تكون الكمية المنعكسة صغيرة حقا ، وهذا يجعل استخدام مثل هذه الأغلفة صعبا وهذا هو السبب في أن هذه الطريقة لم ينتشر استخدامها منذ ذلك الحين .

وبعكس هذه الطريقة تماما ، تستخدم عواكس مصممة تصميميا خاصة تعكس صدى قويا ، وبوضع مثل هذه العواكس في القفار أو على أطراف في البحيرات يمكن توجيه انتباه قاذفات قنابل الأعداء الى هذه الأهداف المزيفة .

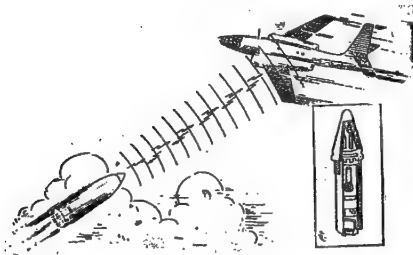
وقد كانت الطائرات المقاتلة محددة بالعمليات النهارية في بداية الحرب ، وقد كان هذا سببا في تحول الألمان - بعد الخسائر الفادحة التي تكبدوها في الغارات الجوية النهارية على لندن في بداية الحرب - الى الهجوم الليلي .

ولكن سرعان ما مكن تطوير الرادار من صناعة أجهزة خفيفة وصغيرة للدرجة التي سهلت تركيبها في المقاتلات . وهنا دارت الدائرة ، فبالاستعانة بالرادار أسقط طيارو المقاتلات قاذفات القنابل ليلا بنفس السهولة التي كانوا يسقطونها بها نهارا ، وبأمان أكثر لأن الطائرات الألمانية - التي لم تكن قد زودت بالرادار في ذلك الوقت - لم تكن تستطيع ايجادهم . وقد وضع ظهور المقاتلات المزودة بالرادار حدا للغارات الجوية الليلية الضخمة على لندن .

ولكن سرعان ما زودت قاذفات القنابل أيضا بأنواع خاصة من الرادار ساعدت المدفعيين فيها على اكتشاف المقاتلات واسقاطها . وهنا بدأت معركة الرادار مع الرادار .

فقد بدأ كلا الجانبين في تزويد طائراته بأجهزة ارسال خاصة تعمل بنفس موجة رادار الأعداء وتتدخل معها . وقد كسب هذه المعركة أكثرهما مهارة واستعدادا .

وقد قام الحلفاء بجهـد ضخم فى مجال الرادار ، ففى نفس الوقت الذى أطلق فيه هتلر « سلاحه السرى » ، الصاروخ ف - ١ ، كان لديهم بالفعل جهاز لاسلكى جديد أثبت أنه عدو مميت لهذا الصاروخ . وكان هذا الجهاز غريبا ، يتكون من مولد لموجات سنثيمترية موضوع فى قنبلة مضادة للطائرات مع بعض الأجهزة المساعدة . فكانت كل قذيفة تحتوى على خمسة صمامات الكترونية صغيرة ومكونات أخرى ومنبع قدرة وهوائى (شكل ٢٨) . وعندما تقترب القذيفة الى مسافة ١٥ - ٢٠ مترا من الطائرة ، تنفجر بفعل هذا الجهاز اللاسلكى أوتوماتيكيا وتضرمها بالشتايا ، وقد زادت فاعلية المدفعية المضادة للطائرات الى درجة كبيرة عندما أمكن التحكم فى المدافع بالرادار وزودت القنابل بالمفجرات اللاسلكية ، ويكفى أن نقول أنه فى نهاية الحرب ، لم يكن يصل الى منطقة الهدف الا أربعة صواريخ من كل مئة .



(شكل ٢٨) - الصمامة اللاسلكية

وتعتبر الصمامات الالكترونية وباقي المكونات التى يمكنها أن تتحمل صدمة انطلاق القذيفة العظيمة من معجزات الهندسة حقا .

ومنذ بداية الحرب واجه مهندسو اللاسلكى مشكلة أخرى هامة جدا ، فقد كان عليهم أن يجدوا طريقة تميز بين طائرات العدو وطائراتهم الخاصة على شاشة الرادار . ولم يكن هذا ضروريا للقادة فقط كي يراقبوا ويوجهوا المارك الجوية وانما أيضا - وربما بدرجة أكبر من

الأهمية - المدفعية المضادة للطائرات الذين قد يسقطون طائراتهم
خطا . وهذا يسرى أيضا على البحرية .

ولحل هذه المشكلة ، بدأ كلا الجانبين في تزويد مركباته البحرية
وطائراته بمحطات لاسلكية اضافية خاصة منخفضة القدرة . وبمجرد أن
تستقبل هذه المحطة اشارات من جهاز ارسال رادار صديق ، تبدأ في
الحال في ارسال اشارات بتردد خاص للرد عليها ، وتظهر على شاشة
الرادار - بجانب اشارة الصدى - اشارة أخرى مميزة . وقد ابتكرت
أخيرا أنابيب خاصة تبين اشارة التمييز بلون مختلف عن اشارة الصدى .
وقد قللت هذه الأنابيب ذات اللونين الأخطاء المحتملة الى حد كبير وأثبتت
سهولة في التشغيل ، وبين المثال التالي أهمية تمييز الصديق من
العدو . ففي ٧ ديسمبر سنة ١٩٤١ ، هاجمت حاملات الطوربيد وقاذفات
القنابل اليابانية القاعدة البحرية الأمريكية في بيرل هاربور ، فكيف
أمكن لهم أن يهاجموا هذه القاعدة فجأة بالرغم من أنها كانت مزودة
بالرادار ؟ أظهر التحقيق أن مراقبي الرادار اكتشفوا الطائرات المقتربة
بكميات كبيرة ، ولكن نظرا لعدم وجود نظام للتعرف عند الأمريكيين في
ذلك الوقت ، فقد افترض المراقبون أن هذه الطائرات طائرات أمريكية
تقوم بأحدى المناورات ، ونتيجة لهذا لم تحذر القيادة من العدو
المقرب .

وفي الجزء الأول من الحرب فقتل بريطانيا والولايات المتحدة عددا
كبيرا من قاذفات القنابل لا بسبب المدفعية المضادة للطائرات الألمانية
ولا بسبب المقاتلات الألمانية ، بل فقد الكثير من قاذفات القنابل أثناء
الاقلاع - وبصفة خاصة أثناء الهبوط في مطاراتها وهذا صحيح . مهما
بدا غريبا .

فليس من السهل ارسال مئات الطائرات بالليل أو في الضباب
من عدة مطارات ، كما أنه ليس من السهل عليها أن تتجمع في مكان
معين ، فإذا كانت الطائرات تقلع بمعدل طائرة كل دقيقتين فإن عملية
اقلاع ٦٠ طائرة من مطار واحد تستغرق ساعتين كاملتين وهذا يعنى
أن تستهلك أول طائرة أقلعت من المطار كمية قيمة من الوقود لأكثر
من ساعتين في التحليق فوق المطار انتظارا لباقي الطائرات .

ويكون الموقف أسوأ عندما تضطر الطائرة - عند عودتها من
العملية بخزانات وقود فارغة تقريبا - الى الانتظار لمدة ساعتين أو ثلاثة
إذا كان الجو رديئا حتى تعود الى الأرض . فلا عجب إذن أن اضطرت

الكثير من هذه الطائرات الى « الهبوط اضطراريا » على الغابات والمياه
... الخ بالليل أو عند وجود ضباب ، كذلك لم يكن من السهل تجنب
استخدام الطائرات بعضها ببعض في الجو .

وقد ساعد تزويد الطائرات بأجهزة رادار لبيان المواقع الاسقاطية
الطيارين على العثور على الأهداف وكذلك مطارات قواعدهما بسرعة ودقة ،
بينما ساعدت أجهزة لاسلكية خاصة على الاقلال كثيرا من عدد الحوادث
أثناء الاقلاع والهبوط . والآن يستطيع الطيار أن يقلع ويهبط بالليل
وفي الضباب عندما تنعدم الرؤية . ويمكنه أن يقود الطائرة بالعدادات
فقط ، بينما يمكن لمجموعة من الأجهزة تشتمل على معدات لاسلكية من
نوع الرادار أن تقود الطائرة آليا بدون أى طيارين مع ضمان السلامة
الكاملة .

وتحمل قاذفات القنابل الحديثة رقما قياسيا من مختلف أجهزة
الرادار والمحطات اللاسلكية . ومن بينها أجهزة رادار توجه نيران
الدافع وأجهزة بيان الموقع الاسقاطي للملاحين وجهاز تصويب للقنابل
يمكن منقاء القنابل من فوق - السحاب أو بالليل وأجهزة الاقلاع
والهبوط الأعمى وأجهزة لاسلكية لقياس الارتفاع بدقة وتعتمد هذه
الأجهزة على انعكاس الموجات اللاسلكية من الأرض ومحطات لارسال
اشارات تعيين الهوية وأجهزة تحذر الطيار من أن طائرته قد اكتشفت
بوساطة رادار الأعداء وأجهزة تبين للطيار أنه قد هوجم من الخلف .

وقد غير ظهور الرادار الطرق التي كانت متبعة للقيام بالعمليات
البحرية وحدد بداية المعركة للسيطرة على خطوط المواصلات البحرية .

ففى نهاية الحرب العالمية الأولى ، وقبل أن تسقط الولايات المتحدة ،
كانت بريطانيا على وشك الهزيمة نتيجة للعمليات الناجحة للغواصات
الألمانية .

وقد كان نفس الموقف على وشك أن يتكرر فى بداية الحرب العالمية
الثانية عندما فقدت بريطانيا ثلاثة أضعاف ما يمكن أن تبنيه من
السفن . ولكن نتيجة لاستخدام الرادار والتطور الذى حدث فى بناء
السفن ، كان الحلفاء فى سنة ١٩٤٣ يبنون من السفن أضعاف
ما يفقدونه .

ويمكن رؤية دور الرادار وأهميته من الأرقام التالية : من الغواصات
الألمانية البالغ عددها ١١٧٤ غواصة غرقت ٧٨٥ وبلغت الخسائر فى
الأرواح ٣٦٠٠٠ .

وفي بداية الحرب ، كانت الحسائر في الغواصات الألمانية طفيفة نسبيا ، وكان هذا نتيجة لأنها لم تكن تطفو لتجديد هوائها الا بالليل فقط حيث لا يمكن أن يراها المراقبون البحريون ولا الجويون .

ولكن بمجرد أن زودت طائرات الحلفاء بالرادار ، أصبح من السهل على الطيارين أن يكتشفوا الغواصات الطافية وأن يفرقوها ، سواء بالليل أو في أية حالة من حالات الطقس . ولكفاحة الرادار ، بدأ الألمان في تزويد غواصاتهم بأجهزة استقبال يمكنها استقبال نبضات أجهزة الرادار على الطيارين أن يكتشفوا الغواصات الطافية وأن يفرقوها ، سواء بالليل الجوية البريطانية .

فبمجرد أن يلتقط جهاز الاستقبال نبضات الرادار التي تدل على اقتراب الطائرة ، تفوص الغواصة في الحال ، ولما كانت الغواصة تستقبل الإشارة القادمة من الطائرة مباشرة ، بينما تستقبل الطائرة إشارة الصدى الضعيفة المنعكسة من الغواصة ، فقد كانت الغواصة تستطيع أن تكتشف اشارات الرادار على مسافة أبعد بكثير من مدى جهاز الرادار نفسه ، وكان هذا يعطيها الفرصة لتفوص قبل أن تستطيع الطائرة اكتشافها .

ولكن بعد أن زودت الطائرة برادار يعمل على موجة طولها ١٠ سنتيمترات ، أصبحت أجهزة الاستقبال المركبة في الغواصات عاجزة عن استقبال هذه الموجات ، وأصبحت في الواقع مصدرا للهولم بالأمان، وعادت الغواصات تدمر قبل أن تسنح لها الفرصة للاستعداد للهجوم قبل وقوعه .

وعندما زاد قلق الألمان تجاه الخسائر المتزايدة ، أرسلوا غواصة مجهزة تجهيزا خاصا وعليها مجموعة من الفيزيائيين ورجال اللاسلكي الذين توصلوا الى أن الطيران البحري التابع للحلفاء قد زود برادار طول موجته ١٠ سنتيمترات .

وانتهى الخبراء الى أن الطريقة الوحيدة لضمان سلامة الغواصات هي تحريرها من ضرورة التطفو .

بعد ذلك زودت الغواصات الألمانية بأنابيب تهوية خاصة (شنوركل) تسمح لها بتجديد هوائها وهي غاطسة تحت الماء . وكان هذا الشنوركل (أو المنخار) يمتص الغواصات بالهواء النقي ويخرج غازات عادم ماكينات الديزل الى الهواء الخارجي . وبهذا أصبحت أجهزة الرادار التي كان يمكنها اكتشاف أية غواصة طافية بسهولة عاجزة عن اكتشاف هذه المناخر الصغيرة . وبالإضافة الى هذا زود الألمان غواصاتهم بأجهزة

استقبال يمكنها أن تستقبل اشارات رادار الاعداء الجوى ، وبمجرد سماع هذه الاشارات ، تفوض الغواصة فوراً • وعادت الحساتر فى الغواصات للتناقص مرة ثانية •

وبمجهودات العلماء والمهندسين الجبارة ، زودت الطائرات البحرية للحلفاء بأجهزة رادار تعمل على موجة طولها ثلاثة سنتيمترات فقط ، وأصبحت هذه الأجهزة قادرة على اكتشاف أنابيب التهوية فى غواصات الحلفاء من مسافة ١٦ - ٢٠ كيلو متراً ، بينما لا تستطيع أجهزة الاستقبال الألمانية التقاط اشاراتها • وعادت الغواصات مرة أخرى فريسة سهلة للطائرات التى « ترى كل شىء » •

ومرة أخرى أرسل الألمان معبلاً غائصاً ولكنه غرق فى اليوم العاشر ، وأمر الحلفاء الشخص الوحيد الذى نجا وكان الفيزيائى المسئول عن المعمل • وبمجرد أن تأكد الألمان من أن الغواصة قد فقدت ، أرسلوا مجموعة أخرى من العلماء ، ولكن هذه الغواصة انغرقت أسرع من الأولى • والى أن انتهت الحرب لم يعرف الألمان أن السبب فى خسائر أسطول الغواصات كان أجهزة رادار تعمل على موجة طولها ثلاثة سنتيمترات •

ولم يقتصر نشاط الرادار على المعركة بين الطائرات والغواصات، فقد زودت كل سفينة حربية بعدد كبير من أجهزة الرادار ، وزود بعضها بأجهزة بيان الموقع الاسقاطى بحيث أصبح الملاح قادراً على رؤية الشاطئ والصخور وجبال الثلج والسفن الأخرى المقتربة بالليل وفى أى طقس •

وقد زودت المدفعية أيضاً بأجهزة رادار خاصة ، بعضها لا يختلف عن تلك المستخدمة مع المدفعية المضادة للطائرات ، والبعض الآخر مصمم خصيصاً لتوجيه المدفعية كبيرة العيار • وكانت هذه الأجهزة هى السبب فى إصابة السفينة الحربية الألمانية شارنهورست إصابة مباشرة من أول مجموعة قنابل أطلقت من المدفعية الثقيلة للسفن البريطانية •

وقد سهل العدد الكبير من أجهزة الرادار من جميع الأنواع القيام بهجوم دقيق ومركز وكذلك تنظيم عمليات الاقتراب والنزول على البر • فمن الأمور الواضحة تماماً أنه لولا الرادار لما أمكن القيام بعمليات انزال الجنود على البر بأعداد كبيرة ، نظراً لخطر اصطدام السفن ببعض والصعوبات التى تواجه نقل الجنود وانزالهم على البر عندما يكون البحر هائجا أو فى المياه الملوحة قرب الشواطئ المحصنة •

وقد خلق عصر النفاثات عددا من المشاكل المعقدة للرادار والملاحاة
اللاسلكية . فمن المعروف جيدا أن دقة مسار الصواريخ وبالتالي قيمة
انحرافها عن الهدف تعتمد أساسا على أول مرحلة في انطلاقها . لهذا
ابتكرت عدة نظم للتحكم في إطلاق الصواريخ تدخل في اعتبارها خواص
طيرانها .

ولا تقل مشكلة اعتراض صواريخ العدو وتدميرها في الأهمية عن
المشكلة السابقة ، وتزيد السرعات الهائلة للصواريخ عابرة القارات
وارتفاعاتها الكبيرة من تعقيد المشكلة أكثر .

ويمكن التغلب على هذه الصعوبات بالاستعانة بصواريخ خاصة
يتحكم الرادار في إطلاقها وتوجيهها . وفي أحد النظم تطلق محطة رادار
أرضية صاروخ الاعتراض في الاتجاه المطلوب أوتوماتيكيا بعد تحديد
موقع الهدف وسرعته واتجاهه ، وبعد ذلك يقوم جهاز رادار صغير مركب
في صاروخ الاعتراض بالتحكم في اقترابه من الهدف وتدميره .

وفي بعض النظم الأخرى يزود صاروخ الاعتراض بجهاز استقبال
رادار فقط ، وفي هذه الحالة تتبع محطة الرادار الأرضية الهدف بشعاعها
بعد تحديد موقعه . ويلتقط جهاز الاستقبال في صاروخ الاعتراض
النبضات المنعكسة من الهدف ويشغل الأجهزة الأوتوماتيكية وبهذا يكون
اعتراض الهدف مؤكدا .

وهناك نظم أخرى لا يزود فيها صاروخ الاعتراض برادار ، وفي
هذه الحالة تقوم محطة الرادار الأرضي بتتبع كل من الهدف وصاروخ
الاعتراض وتوجه الأخيرة أوتوماتيكيا نحو الهدف .

الرادار في زمن السلم

يستخدم الرادار بكثرة في زمن السلم أيضا ، فهو يراقب الحدود
البرية والبحرية بصفة مستمرة ، كما يمكن من استمرار المواصلات الجوية
في جميع حالات الطقس ، مكونا وسيلة يعتمد عليها لتحديد الاتجاه
تحديدا مؤكدا وواقيا الطائفة من الاصطدام بالجبال والأبراج العالية
والطائرات الأخرى . وهناك أجهزة لاسلكية خاصة تمكن الطائرات من
الاقلاع والهبوط أوتوماتيكيا ، وربما تقاد طائرات نقل البضائع في
المستقبل آليا ويدون أفراد .

والرادار يقى السفن عابرة المحيطات المزودة به من التصادم بالسفن الأخرى أو جبال الثلج ، ويمكنها من دخول أى ميناء والإبحار منه مجتازة أعقد الممرات البحرية بينما تكون الرؤية منعدمة .

وقد أدخل الرادار نظاما جديدا تماما على وسائل الملاحة ، وهو الملاحة اللاسلكية . فان المشكلة الرئيسية للملاحة ، والتي تعود الى أقدم العصور ، هي تحديد مكان السفينة فى البحار الكبيرة . فان قائد السفينة فى عرض المحيط أو الملاح الجوى الذى لا يستطيع رؤية الأرض لا يجد ما يمكنه من تحديد موقعه . والى عهد قريب كانت الملاحة تعتمد أساسا على البوصلة مع تقدير الموضع بالحساب (★) . وفى هذه الحالة يحدد الملاح مكان السفينة أو الطائرة بالنسبة لآخر علامة رآها على الأرض . وإذا كان الجو صحوحا يمكن للملاح أن يستعين بالأجرام السماوية وبعض الرصدات الفلكية فى تحديد موقعه . ولكن تحديد الاتجاه بالاستعانة بالحساب وقراءات البوصلة والرصدات الفلكية ليس دقيقا بالدرجة الكافية مما يجعل الإبحار أو الطيران طويل المدى خطرا .

وقد لى تطور تكتيك الرادار كافة الاحتياجات المطلوبة لنظام دقيق للملاحة اللاسلكية . فقبل الحرب العالمية الثانية بوقت طويل ، ابتكر الأكاديميان ل . سى . مانغولستام ون . د . بابالسكى فى الاتحاد السوفيتى طريقة بديعة لقياس المسافات بالاستعانة بالموجات اللاسلكية ، وكانت هذه الطريقة على درجة عالية من الدقة ، وقد فتحت الطريق لمجال جديد لاستخدام تكتيك اللاسلكى ، وهو المساحة اللاسلكية مما مكن من الحصول على درجة عالية من الدقة والكفاية فى العمليات المساحية .

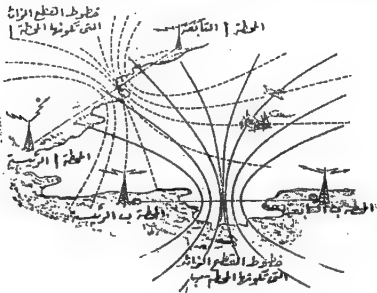
أما فى باقى النول فلم تبدأ هذه الطريقة الا أثناء الحرب .

وبتطور تكتيك الرادار النبضى ، سرعان ما استخدمت طريقة النبضات فى الأغراض الملاحية أيضا . إذ تستطيع معدات الرادار تحديد الاتجاه والمسافة بدقة وهذا هو كل ما ترجوه الملاحة .

ويشتمل أحد النظم الحديثة للملاحة اللاسلكية على ثلاث محطات

(★) وبالإضافة الى البوصلة المغناطيسية العادية ، هناك أيضا البوصلة الجيروسكوبية . وما يسمى بالبوصلة اللاسلكية التى تمكن من تحديد اتجاه المحطة اللاسلكية المستقبلية . ولكن تقل دقة البوصلة اللاسلكية بسرعة بازدياد المسافة بينها وبين محطة الإرسال وخصوصا أثناء الطيران فوق أرض جبلية .

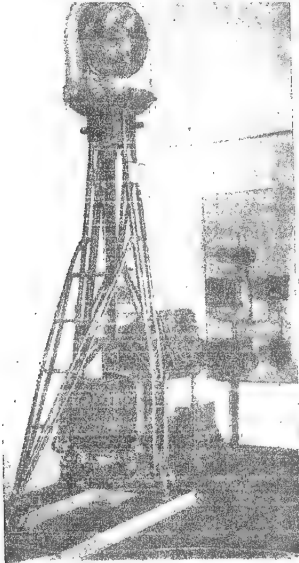
لاسلكية تعمل معا وتوضع فى ثلاث نقط تبعد كل منها عن الأخرى عدة مئات من الكيلو مترات . وتزود السفينة أو الطائرة بثلاث أجهزة استقبال كل منها موافق على إحدى محطات المقارنة الثلاث . وتغذى الإشارات المستقبلية الى جهاز يحصر يدر بين زمن وصول الإشارة القادمة من أقرب محطة آلية وزمن وصول كل من الإشارتين القادمتين من المحطتين الأخرين ويحدد أوتوماتيكيا مكان السفينة أو الطائرة ، وأخيرا يوقع المكان على خريطة (شكل ٢٩) . والدقة فى هذا النظام الملاحي اللاسلكى عالية جدا ، ويمتد مداها الآن الى ألفى كيلو مترا . ومن السمات الهامة لهذا النظام أن السفينة أو الطائرة لا تحتاج لإرسال أية إشارات لاسلكية كى تستطيع تحديد موقعها وبالتالي لا تكشف عن وجودها .



(شكل ٢٩) : خريطة موقع ما تبين شبكة القطع الزائد لنظام ملاحي لاسلكى .

وقد ابتكرت أخيرا طريقة تمكن من استخدام محطات التليفزيون الموجودة حاليا فى الأغراض الملاحية . ولهذا الغرض تزود هذه المحطات بأجهزة اضافية بسيطة لضمان التشغيل الجماعى . وبهذا يمكن تزويد الطائرات التى تطير على ارتفاع حوالى ٦٠٠٠ متر وعلى مسافة تصل الى ٦٥٠ كيلو مترا بالوسائل الملاحية بدون مصاريف كثيرة وبدون تدخل مع التشغيل العادى لمحطات التليفزيون . أما السفن البحرية والنهرية فيمكنها استخدام هذا النظام الى مسافة ١٠٠ كيلو مترا فقط ، وذلك بسبب خواص امتداد الموجات اللاسلكية فوق القصيرة التى تكلمنا عنها فى الفصل السابق .

وتستخدم محطات رادار خاصة بنظام معين يعمل على موجات طولها:
 ثلاثة سنتيمترات في الأغراض الملاحية (شكل ٣٠) • وقد
 ذكرنا من قبل أن شاشات هذه الأجهزة تعطى صورة للأرض التي تظهر
 فوقها الطائرة أو الشاطئ الذي تقترب منه السفينة • وبمقارنة هذه
 الصورة بخرائط مجهزة تجهيزا خاصا يمكن للملاح أن يحدد موقعه ويوقع
 مساره بدقة تقرب من الدقة التي يحصل عليها أثناء النهار •
 وترتفع كفاءة مثل هذا الجهاز جدا اذا زود الطريق بمناورات لاسلكية:



(شكل ٣٠) : محطة رادار مبدئية للموقع الاستراتيجي للبحر -

خاصة . وترسل هذه المحطات المستجيبة اشارات شفرية فقط عندما تستقبل اشارة استفهام من جهاز الرادار من الطائرة . وتظهر اشارات هذه المنارات بوضوح على شاشات مبيئات المواقع الاسقاطية ، مما يمكن الطيار من توجيه الطائرة بدون أى شك فى طريقها الصحيح .

وعندما تقترب الطائرة من المطار بالاستعانة بالمعدات الملاحية المركبة فيها وتدخل منطقة عمل المعدات الأرضية ، تكتشفها محطة تحديد الموقع على بعد ١٠٠ كيلو مترا تقريبا ، ويسأل المراقب الطائرة بالراديو عن هدفها ، فإذا كانت الطائرة متجهة الى مطارها ، يعطيها الاذن بالهبوط ، أو يرسلها الى منطقة الانتظار اذا لم يكن هناك مدرج خال .

وتعتبر لحظة تلامس عجلات الطائرة بالأرض أهم لحظات الطيران ، وبخاصة اذا كانت الرؤية مبهمة . وفى هذه الحالة تتم عملية الهبوط بالاستعانة بمعدات خاصة تحدد ارتفاع الطائرة واتجاهها بدقة عالية .

فإذا لم تكن الطائرة مزودة بأجهزة مهبوط أعمى ، ترسل اليها تعليمات الهبوط باللاسلكى من الأرض ، وفى هذه الحالة يحدد المراقب وضع الطائرة بالنسبة للمدرج بواسطة المعدات الأرضية ، وإذا انحرقت عن الاتجاه الصحيح أو الارتفاع اللازم ، ترسل التعليمات بالراديو ، وبهذه الطريقة يمكن أن يهبط الطيار بأمان باتتبع تعليمات المراقب .

هذا ويمكن أن يفشل هذا النظام فى المطارات الكبيرة المزدحمة ، إذ لا يستطيع المراقب أن يعطى تعليمات لأكثر من طائرة واحدة فى الوقت الواحد . ولهذا السبب تضطر المطارات الكبيرة الى استخدام عدد من المراقبين أو وضع نظام للهبوط حسب الأولوية ، الأمر الذى يسبب ضياع الوقت والوقود .

وبالإضافة الى هذا النظام البسيط للهبوط الأعمى ، هناك عدد من النظم المختلفة للهبوط الأعمى لا تحتاج لمساعدة المراقب . ولكن هذا يتضمن تزويد الطائرة بمعدات خاصة ، وتشتمل هذه النظم على منارة لاسلكية سميتية تحدد اتجاه الهبوط بالنسبة لخط وسط المدرج ، وما يسمى بمنارة مسار الانحدار وتحدد زاوية الانحدار التى تجعل عجلات الطائرة تلمس أول المدرج بنعومة .

وتزود الطائرة عادة بمبين خاص يبين للطيار متى انحرف عن مسار الانحدار المطلوب . ويسمح هذا النظام للطيار أن يهبط بدون أن يرى الأرض .

وتحتوى الأنواع المتقدمة من هذا النظام - علامة على مئين مسار الانحدار - على معدات هبوط أعمى ترسل الاشارات المناسبة للطيار الآلى . وهذا يعنى امكان الهبوط آليا تماما وبدون أى تدخل من أى انسان .

وحتى بعد أن تهبط الطائرة على المدرج تستمر تحت « حراسة » أجهزة الرادار . ففي المطارات الكبرى ، تقلع الكثير من الطائرات وتهبط فى وقت واحد ، لهذا يجب أن يكون المراقب على دراية مستمرة بالمدارج ومناطق الاقتراب المشغولة ويجب أن يوقت توجه الطائرات الذاهبة الى نقط البداية على المدرج والواصله الى مناطق التفريغ والانتظار ، وذلك لضمان الأمن والسلامة . ويتم هذا بالاستعانة بأجهزة رادار خاصة قصيرة المدى ذات قوة تحليل عالية تمكن المراقب من رؤية صورة كاملة للمطار بكل ما فيه من طائرات وسيارات الوقود وعربات نقل البضائع الخ .

وتزود سفن الأسطول التجارى السوفيتى بأجهزة رادار خاصة طراز « سنفور » و « تبتون » مصممة للأغراض الملاحية . ويمكن هذه المحطات من قيادة السفن فى الظروف الخطرة بالقرب من الشواطئ الخطرة أو قريبا من مداخل الموانئ والقنوات كما تساعد على تجنب الاصطدام بالسفن الأخرى وجبال الثلج ، وذلك كله عند انعدام الرؤية .

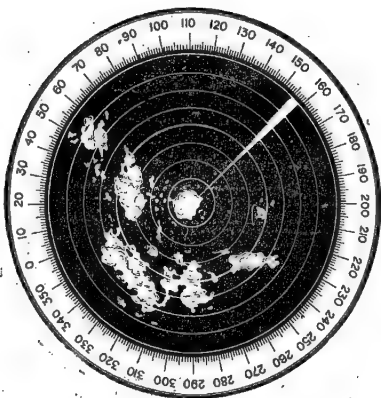
ويمكن استغلال مثل هذه المحطات اللاسلكية أيضا فى الملاحة فى الأنهار الكبيرة والخزانات . فبالإضافة الى المنارات وعلامات ارشاد السفن المعتادة ، يزود الطريق بعواكس رادار تعكس الموجات اللاسلكية جيدا بطول ممر الوصول تماما . وتعمل هذه العواكس بنفس الطريقة التى تعمل بها العواكس الزجاجية المستخدمة فى اشارات المرور فى الطرق الخلوية أو الأضواء الخلفية من السيارات .

وتركب عواكس منشورية الآن فى عوامات شباك الصيد للمساعدة على العثور عليها . كما تركيب منارات لاسلكية خاصة صغيرة داخل الحراب المستخدمة فى صيده لحوت لتسهيل العثور على الحوت المقتول .

ومن الأمور الهامة بالنسبة للمواصلات الجوية وكذلك للمواصلات البحرية والنهرية الحصول على تقارير دقيقة فى الوقت المناسب عن الجو ، ولا تكفى فى هذه الحالة التقارير الجوية العادية التى تذكر متوسط درجة الحرارة وحالة السحب والأمطار لليوم أو الأسبوع التالى . إذ يجب أن يعرف الطيار أو قبطان السفينة فوراً كل المعلومات عن العواصف القترية .

منه والرياح الهوجاء والأعاصير الحلزونية ومناطق الثلج والسحب
... الخ *

وتمكن أجهزة الرادار الحديثة التي تعمل في النطاق السنتيمترى
من اكتشاف السحب والأمطار على مسافة تصل الى عدة عشرات من
الكيلو مترات وتحديد زمن وصول العاصفة أو الأعصار الحلزوني بدقة
تصل الى دقيقة (شكل ٣١) *



(شكل ٣١) : سحب العاصفة على شاشة الرادار *

وبهذا يمكن للطيار الذي يقود طائرة مزودة بمثل هذا الرادار ،
أن يستعد في الوقت المناسب لمواجهة الخطر أو تجنبه * وقد أظهرت
التجربة أنه يكفي لتجنب عاصفة ما أن تبعد الطائرة عنها بمسافة ١٠ -
١٥ كيلو مترا وهي أكثر من المطلوب لتحقيق الأمان *

وتساعد هذه المعلومات ، اذا ما أضيفت الى تحديد اتجاه تيارات
الهواء وسرعتها بواسطة البالونات التي تتبعها محطات الرادار ، على

زيادة دقة التنبؤات الجوية . وفي بعض الحالات ، يمكن تغذية البيانات الآتية من محطات الرادار وتلك الآتية من الأجهزة الأخرى إلى آلة حاسبة الكترونية مباشرة للحصول على تنبؤات جوية لزمن قصير .

والآن يتخذ الرادار طريقه إلى مجالات أخرى من مجالات الهندسة ، ففي سنة ١٩٥٧ زودت بعض السيارات بأجهزة رادار خاصة تشغل الفرامل أوتوماتيكيا عندما تقترب السيارة من جسم أمامها ، وتعتمد قوة الفرملة على معدل الاقتراب من ذلك الجسم ، فمثلا إذا كانت السيارة تتخطى مركبة أخرى ، يبطئ جهاز الرادار سرعة السيارة لتجنب الاصطدام ، وفي نفس الوقت يحذر السائق من الخطر ، ويمكن استخدام معدات مشابهة في السكك الحديدية .

ويستخدم الرادار في الأبحاث أيضا ، ومثال ذلك قياس المسافة إلى القمر بالاستعانة بأجهزة رادار خاصة أجريت عليها التعديلات اللازمة لهذا الغرض . وكان أول ما ظهرت إمكانية القيام بمثل هذه القياسات في المرحلة الحديثة من تطور الهندسة اللاسلكية في سنة ١٩٤٢ على يدى الأكاديميين ل . ي . ماندهلستام و ن . و . بابالكسى ، على أساس حسابى . وكانت المسافة إلى القمر مقاسة بالطبع من قبل بوسائل فلكية ، ولكن هذه القياسات معقدة جدا . فهي تعتمد على قياس زاويتي نقطة معينة على سطح القمر من نقطتين على الأرض بعيدتين بعدا كافيا والمسافة بينهما معلومة بالضبط . وقد تمكن الفلكيون من تحديد متوسط بعد القمر بدقة بلغت ٣٦ كيلو مترا . وتسمح الطريقة اللاسلكية بقياس هذه المسافة بدقة أكبر ، ولكن المهم هنا بصفة خاصة هو إمكان إجراء هذا القياس بسرعة ومن نقطة واحدة على سطح الأرض مما يمكن من مراقبة التغير في هذه المسافة مراقبة مستمرة . وقد تمت أول تجربة لاكتشاف الموجات اللاسلكية المنعكسة من القمر في الولايات المتحدة سنة ١٩٤٦ بالاستعانة بجهاز رادار أضيفت إليه تعديلات خاصة لهذا الغرض .

وستتناول في الفصل التالى الفلك اللاسلكى ، وهو علم جديد نشأ أساسا على اكتشاف الرادار . وفي هذا الفرع من العلم يستخدم الفيزيائيون فى أرسادهم الفلكية هوائيات ضخمة وأجهزة استقبال حساسة ومعدات أخرى ابتكرت للعمل مع الرادار . وكما سنرى ، لا يعتبر الفلك اللاسلكى علما « بحثا » منعزلا ، فان البيانات التى يعطيها لها أهمية كبرى للرادار والاتصالات اللاسلكية وفى الاستعداد لغزو الفضاء .

الفلك السياسى

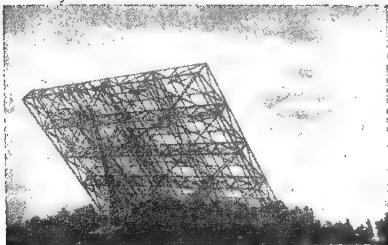
الاشعاع اللاسلكى للشمس

حدث فى بداية الحرب العالمية الثانية - فى محطات الرادار التى كانت تحرس الساحل الشرقى لبريطانيا وتعمل بالموجات المترية - أن وجد مراقبو الرادار أنفسهم فجأة يواجهون تداخلا غامضا . وبعد أن ظهر مرة ذات صباح ، تكرر ظهوره عدة مرات ، وذائما فى الصباح بطريقة كانت تعوق اكتشاف الطائرات الألمانية القادمة من الشرق ، أما فى باقى النهار فقد كانت أجهزة الرادار تعمل بطريقة طبيعية .

وقد لوحظ أن ذلك التداخل كان يؤثر على جميع محطات الموجات المترية الموجودة على الساحل الشرقى فى وقت واحد ، بالرغم من أن بعضها كان بعيدا جدا عن البعض الآخر . وقد كان البريطانيون يخشون أن يكون العدو قد وجد طريقة جديدة للتشويش على أجهزة الرادار . ولكن بعد أن ثبت أن جميع المحطات قد حددت اتجاه التداخل ووجد أنه ينطبق على اتجاه الشمس ، وصل العلماء الى أن الشمس كانت هى مصدر هذا التداخل . وقد ذكر فى التقاويز السرية عام ١٩٤٢ أن شدة هذا التداخل العالية بشكل غير عادى كان لها علاقة بالبقع الشمسية الكبيرة التى لوحظت فى تلك الأيام .

وقد حدثت هذه الملاحظات فيما قبل التاريخ الفلكى اللاسلكى . وظل العلماء لا يعرفون عنها شيئا لزم من طويل ، اذ لم تبدأ الدراسة المنظمة لذلك الاشعاع القوى بدرجة غير عادية والمرتبطة بالبقع الشمسية الا بعد الحرب عندما ظهرت تلك البقعة الضخمة فى فبراير سنة ١٩٤٦ .

وقد كان من رواد تطوير اللاسلكى الفلكى ن . د . بابا لكسى ، فقد أحس تماما بإمكانيات ذلك العلم الجديد والآفاق التى فتحتها ، فعمل بجد - هو ومجموعة من المساعدين - على ملاحظة الاشعاع اللاسلكى للشمس أثناء الكسوف الكلى الذى حدث فى البرازيل فى ٢٠ مايو سنة ١٩٤٧ .



(شكل ٣٢) : مجموعة هوائي تتكون من ٩٦ ثنائي قطب • ولد انشيء في قاعدة القرم التابعة لمعهد الفيزياء في اكااديمية العلوم السوفيتية سنة ١٩٤٩ • وينور هذا الهوائي في زوايا السمات والارتفاع ويستخدم في الرصدات المنتظمة للشمس بهوجة طولها ١٥ مترا •

وفي أثناء هذا الكسوف ، غطى القمر قرص الشمس تماما لمدة خمس دقائق تقريبا ، ومن النادر مشاهدة مثل هذا الكسوف الكلي الطويل • ومكن هذا من دراسة « السطوح اللاسلكي » لسطح الشمس بسهولة • وقد حرمة الموت المفاجيء في ٣ فبراير سنة ١٩٤٧ من الاشتراك بنفسه في هذه الدراسات المنظمة ، ومع ذلك فقد وصلت بعثة سوفيتية من فيزيائيي الراديو يرأسها البروفيسور س • ي • خايكين الى البرازيل في السفينة « جريبويدوف » وقامت بأول رصدات فلكية لاسلكية تمت أثناء كسوف كلى للشمس وحصلت على بيانات قيمة للغاية عن الاشعاع اللاسلكي للشمس : وقد تمت هذه الرصدات باستخدام الموجات المترية ، واستخدم العلماء السوفيت فيها هوائيا يتكون من عدد كبير من ثنائيات القطب تشبه هوائيات أجهزة استقبال أجهزة التلفزيون مع أجهزة استقبال رادار مجهزة خصيصا لهذا الغرض (شكل ٣٣) •

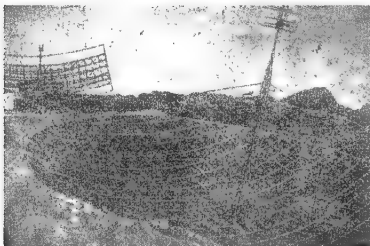
ومنذ ذلك الحين أصبحت كل بعثة مهمتها رصد الكسوف الشمسي. تضم - بالإضافة الى الفلكيين العاديين - لاسلكيين لرصد الاشعاع اللاسلكي للشمس لا على الموجات المترية فحسب بل والديسيمترية والسنتيمترية والمليمترية كذلك • وقد صممت تلسكوبات لاسلكية خصيصا لهذا الغرض سنتكلم عنها فيما بعد • وبالطبع ، لم تعد دراسة الاشعاع اللاسلكي للشمس الآن قاصرة على فترات الكسوف ، بل ان معدات الراديو الحديثة

تسمح بدراسة الشمس في أى جو من الشروق الى الغروب ، وجدير بالذكر ان تلك الرصدات التى تتم أثناء شروق الشمس وغروبها هى التى أدت الى اقيم البيانات لاعن الشمس فحسب بل عن تركيب الغلاف الجوى للأرض أساسا ، اذ وجد أن التليسكوبات اللاسلكية يمكنها أن « ترى » الشمس قبل شروقها بزمن قليل وبعد غروبها بزمن قليل ، وهذا نتيجة لانكسار الموجات اللاسلكية التى تشعها الشمس أثناء مرورها فى جو الأرض . وينكسر ضوء الشمس أيضا بمروره فى جو الأرض ، وتبدو الشمس مسطحة وبيضاوية عند الغروب نتيجة لزيادة انكسار الأشعة باقترابها من الاتجاه الأفقى . وقد عرفنا من قبل شيئا عن الانكسار الذى يزيد من مدى استقبال الرادار والتليفزيون ، ويتم ذلك الانكسار فى الطبقات السفلى من الغلاف الجوى ، ولكن الأبحاث الفلكية اللاسلكية تتناول الانكسار فى الغلاف الجوى بأكمله . ويمكن أن تؤدى الأبحاث على الانكسار الى بيانات عن تركيب الطبقات العليا من الجو (الأيونوسفير) تعتبر هامة بالنسبة لتتبع الأجسام المرتفعة مثل الأقمار الصناعية بالرادار وحل المشاكل الجيوفيزيائية .

كذلك يجب أن يضم تاريخ ما قبل الفلك اللاسلكى الأعمال التى تمت سنة ١٩٣١ . قد لوحظ حينئذ أن شدة التداخل على الموجات التى طولها ١٥ مترا كانت تتغير دوريا أثناء الأربع والعشرين ساعة . وكان الزمن بين أقصى شدة تداخل والتداخل الذى يليه ٢٣ ساعة و ٥٦ دقيقة بالضبط ، أى أن التداخل كان يحدث مرة كل يوم فلكى . وكان معنى ذلك أن مصدر هذا التداخل لم يكن الغلاف الجوى ، ولكنه يأتى من مصدر خارج الكرة الأرضية . وكذلك لا يمكن أن تكون الشمس هى هذا المصدر لأن اليوم الشمسى ٢٤ ساعة بالضبط . وقد أظهرت الأبحاث أن هذا التداخل الذى لوحظ كان صادرا من مركز المجرة ، من منطقة فى اتجاه كوكبة القوس والرامي .

ولم تذهب الأبحاث أبعد من ذلك الا فى سنة ١٩٤٠ عندما أعيدت نفس التجارب ولكن على موجة طولها ١٨٥ سنتيمترا . وفى هذه المرة سجل الاشعاع اللاسلكى لا من مركز المجرة فحسب بل من درب التبانة بأكمله . وقد كان هذا الاشعاع أضعف بكثير حقا . ويجب اعتبار سنة ١٩٤٤ سنة ميلاد الفلك اللاسلكى . اذ بدأت فى تلك السنة ملاحظة الاشعاع اللاسلكى للشمس والمجرة بانتظام . وقد استخدمت فى البداية هوائيات وأجهزة استقبال الرادار ، ثم بنيت منشآت خاصة أطلق عليها التليسكوبات اللاسلكية .

أما الآن فهناك أعداد كبيرة من التليسكوبات اللاسلكية المختلفة .
 فمنذ حوالي عام ١٩٥١ ، بدأ إنشاء تليسكوبات لاسلكية كبيرة جدا في
 جميع أنحاء العالم . وكان أبسطها على شكل طاس أرضي كبير (شكل ٣٣)
 وتصنع بعض التليسكوبات اللاسلكية على شكل عواكس معدنية مثل
 عاكس الأضواء الكاشفة ولكنها ضخمة ، وهي ليست على درجة عالية من
 الصقل مثل المرايا الضوئية ، لأن ذلك ليس ضروريا لتجميع الموجات
 اللاسلكية على هوائي الاستقبال الموضوع في البؤرة ، ولكنها عادة أكبر
 في الحجم من عواكس الأضواء الكاشفة .



(شكل ٣٣) مجموعة هوائى ثابت الطاس ، قطره ٣٠ مترا ومبطن بشبكة معدنية .

وتختلف أقطار عواكس التليسكوبات اللاسلكية الحالية من مترين
 الى ٦٥ مترا ، وتدور هذه الأبنية الضخمة على دعائم لا تقل في قوتها
 عن عربات المدافع (شكل ٣٤) ويجرى في الوقت الحاضر تصميم وبناء
 تليسكوبات لاسلكية أكبر حجما قطر أحدها ٧٦ مترا (ارتفاع بناء من
 ١٥ طابقا) ويدور على بنيان خاص يضم أبراجا ارتفاعها ٤٠ مترا ، مركبة
 على عربات تسير على قضبان حديدية دائرية .

ويستخدم أحد أنواع التليسكوبات اللاسلكية الأخرى مجموعات
 كبيرة من هوائيات دوارة مرتبطة بعضها ببعض . وقد مكنت كل من هذه
 المنشآت المعقدة وعدد من التليسكوبات اللاسلكية البسيطة من الحصول
 - في زمن قصير - على معلومات جديدة عامة أجبرت الفلكيين في عدد من
 الحالات على مراجعة معتقداتهم عن العمليات التي تحدث في الشمس وفي

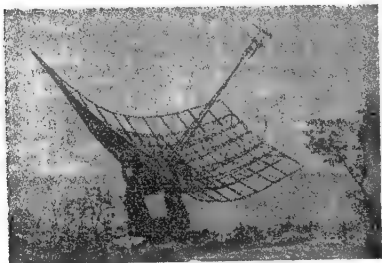


(شكل ٣٤) : عاكس تليسكوب لاسلكي قطره ٧٥ مترا لدراسة الاشعاع اللاسلكي على موجات طولها ١٠ سنتيمترات او أكثر . وهذا العاكس في قاعدة القمر التابعة لمعهد الفيزياء باكاديمية العلوم السوفيتية .

النجوم البعيدة جدا وفي السدم . وتستخدم بعض التليسكوبات اللاسلكية - مثلها في ذلك مثل منشآت الرادار - هوائيات تمثل جزءا من سطح قطع مكافئ ، ويسمى الخبراء أسطح قشرة البرتقالة المكافئة . وبالطبع لا يمكن أن يحل مثل هذا الجزء محل العاكس الكامل ، كما تكون الطاقة التي يجمعها بالطبع صغيرة . الا انها أخف بكثير من الهوائيات الكاملة وأرخص . والشعاع المنبعث من سطح قشرة البرتقالة المكافئ يكون على شكل مروحة ، واسع جدا في اتجاه ، وضيق (كالشعاع المنبعث من الهوائي كما لو كان كاملا) في الاتجاه الآخر .

ويعمل اثنان من هذه التليسكوبات بعواكس أبعادها 18×8 مترا منذ سنين في قاعدة انقرم التابعة لمعهد الفيزياء باكاديمية العلوم السوفيتية (شكل ٣٥) .

وقد بنى حديثا تليسكوب لاسلكى ذو تصميم مختلف تماما عما سبقه تحت اشراف س . ي . خايكين فى المرصد الفلكى الرئيسى التابع لأكاديمية العلوم السوفيتية . وقد صنع على شكل قشرة البرتقالة ايضا ، ولكن بدرجة من الضخامة اقتضت أن يصنع من أجزاء متعددة بدلا من لوح واحد . وعندما ينظر المرء اليه ، لا يتمالك أن يذكر تلك القصة القديمة عن كيفية تمكن أرشميدس من حرق أسطول الأعداء دفاعا عن مدينته ، إذ أمر عددا كبيرا من المحاربين أن يسلطوا الضوء المنعكس من دروعهم على نقطة واحدة على إحدى سفن الأعداء فى وقت واحد ، إذ أن الألواح المنفصلة التى تكون التليسكوب اللاسلكى الضخم موضوعة الواحدة بجوار الأخرى بنفس هذه الطريقة ، ويمكنها أن تتبع حركة المصدر عندما تخضع للتحكم المناسب . وهناك تليسكوب لاسلكى تحت الانشاء فى الوقت الحاضر يمتد على مسافة كيلومتر ، وهو ضخم بالنسبة الى باقى أنواع التليسكوبات الأخرى .



(شكل ٣٥) : هوائى جهاز مرسمة الطيف (سبكتروجراف) اللاسلكى . وابعاده ١٨ × ٨ مترا . ويتكون مقياس التداخل اللاسلكى من التين من هذا النوع من الهوائيات . ويستخدم فى دراسة تفرج الاشعاع اللاسلكى الشمسى .

وهناك ايضا تليسكوبات لاسلكية تتكون من عدة هوائيات متباعدة ، ويسمى مثل هذا التليسكوب اللاسلكى بمقياس التداخل اللاسلكى لأنه - مثل مقياس التداخل الضوئى - يستغل الفرق بين طور الموجات الساقطة على الهوائى . وقد سبق أن ذكرنا الهوائيات المتباعدة التى تستخدم للتغلب على الخبو عند استقبال الموجات القصيرة .

ويجب أن نلاحظ هنا الظروف التي يجب على مصممي التليسكوبات اللاسلكية أن يدخلوها في اعتبارهم . فنحن نعلم انه يمكننا رؤية الاشارات اللاسلكية الشمسية على شاشات الرادار على هيئة تداخل . وأحيانا يتداخل الإشعاع الشمسي اللاسلكي مع التلفزيون ، فالإشعاع اللاسلكي للشمس والقمر والمصادر الكونية الأخرى لا يحتوى على اشارات مفهومة ، بل انه - بكل بساطة - تيار من الموجات اللاسلكية تتغير شدته بلا انتظام . فطبيعة الاشارات الناتجة عنه من نفس طبيعة الضوء العنوائي . ومن الواضح أن هذه الاشارات تكون عادة ضعيفة جدا ، وغالبا ما تكون شدتها أقل من منسوب الضوء الداخلية لأجهزة الاستقبال . ولهذا السبب تتضمن أجهزة الاستقبال في التليسكوبات اللاسلكية دوائر خاصة يمكنها فصل الاشارات الضعيفة القادمة من المصادر الكونية عن ضوضائها الداخلية .

في صفوف العلم

هل يمكن أن يكون هناك استخدام عملي للفلك اللاسلكي ؟ نعم إذ يحدث أحيانا أن يعجز ملاح السفينة أو الطائرة عن تحديد مكانه بالاستعانة بالعلامات الأرضية أو الفنارات اللاسلكية أو بمميزات المنطقة المحيطة به . وفي هذه الحالة يجب أن يعتمد على رصد الشمس أو النجوم ، ولكن ما عساه يفعل في الجو الملبد بالغيوم عندما تختفي الأجرام السماوية ؟ هنا يهب الفلك اللاسلكي لمساعدته ، إذ تمر الموجات اللاسلكية التي تشعها الشمس والسدم بسهولة خلال السحب ويمكن رصدها في أى جو . وقد تم تصميم تليسكوبات لاسلكية صغيرة لتركب في السفن ، وهي تساعد الملاحين على رصد الشمس والقمر لمعرفة مكانهم في أى جو ، ويمكن تركيب أجهزة مشابهة في الطائرات الكبيرة . وهذا يجعل السفر بالبحر والجو أكثر أمانا .

كما يمكن أن تعمل مرايا التليسكوبات اللاسلكية الكبيرة كواحدة من الوسائل الرئيسية للتحكم والاتصالات بالنسبة للسفر في الفضاء ، إذ تساعد على تحديد مسار سفينة الفضاء وإرسال أوامر التحكم إليها واستقبال الاشارات من الأجهزة الأوتوماتيكية وأجهزة إرسال التلفزيون المركبة في المعامل الفضائية .

والآن يحق لنا أن نسأل : ما هو الدور الجديد الذي يقوم به الفلك اللاسلكي في العلم الحديث ؟ بالإضافة الى الكثير من المعلومات عن الاجرام

الساوية وتركيب جو الأرض ، يمكننا الفلك اللاسلكي - بعكس الفلك العادي - من التنبؤ بالمواصف المغناطيسية وانقطاع الاتصال اللاسلكي قبل حلولها بيوم ، حتى في الجو الملبد بالقيوم .

وتعتمد كافة أنواع الحياة على الأرض على الطاقة التي تستقبلها الأرض من سطح الشمس ، وقد لاحظ الفلكيون اللاسلكيون أن شدة الاشعاع اللاسلكي للشمس لا تظل ثابتة . وقد لوحظ أن أقصى شدة لاشعاع الشمس اللاسلكي كانت في سنة ١٩٤٨ في نفس الوقت مع قمة النشاط الشمسي ، أي عندما شوهد عدد كبير بدرجة غير عادية من البقع الشمسية والسنة الذهب الساطعة والتوهجات وما يسمى بحقول الذهب على الشمس . وقد كان أقل نشاط شمسي واشعاع لاسلكي أيضا في سنة ١٩٥٤ . وحدثت الذروة التالية سنة ١٩٥٩ ، لأن شدة الاشعاع اللاسلكي من الشمس مرتبطة بالنشاط الشمسي الذي يتغير - كما أثبت العلماء - في دورة مدتها إحدى عشرة سنة .

وأثناء فترات الخمول الشمسي ، يظل الاشعاع اللاسلكي ثابتا تقريبا لمدة طويلة ومنخفضا بالنسبة لمنسوبه في فترات قمة النشاط . أما في فترات قمة النشاط ، فانه قد يتغير بسرعة بحيث يزيد الى مئات وآلاف أضعاف منسوبه المعتاد في عدة دقائق . وقد وجد أن هذه الاندفاعات المفاجئة للاشعاع اللاسلكي مرتبطة بالعمليات الضعيفة التي لاحظها الفلكيون منذ زمن طويل . وشدة هذه الاشعاعات المفاجئة كبيرة حتى انها تتداخل تداخلا ملحوظا مع التليفزيون في بعض الأحيان .

والى عهد قريب لم يستطع العلماء أن يروا الا السطح النير للشمس ، وهو المسمى بالفوتوسفير ، والطبقات العليا الباردة (نسبيا) من جو الشمس وهي المسماة بالكروموسفير والطفافة وهي أبعدا عن الشمس . وبالطبع وضع العلماء النظريون نظريات مختلفة عن تركيب جوف الشمس وهي المسماة بالكروموسفير والطفافة وهي أبعدا عن الشمس . كانت امكانية الحصول على أية بيانات تجريبية عن تركيب الشمس ضئيلة جدا .

وقد تمكن الفلكيون اللاسلكيون من التقدم خطوة أخرى في هذا الاتجاه ، بل انهم تمكنوا من الحصول على صورة لتوزيع السطوع اللاسلكي على سطح الشمس ، أي صورتها اللاسلكية . وللقيام بهذه المهمة كان من الضروري تصميم هوائي ذي زاوية رؤية ضيقة جدا ، وبوضع ثنائي القطب في بؤرة التليسكوب (الطاس الأرضي) وامالته قليلا يمينا ويسارا ، جعل العلماء الشعاع الرائي يمسح سطح الشمس - حيث كانت - مما

مكن من استقبال الاشعاع اللاسلكى لا من سطح الشمس بأكمله وإنما من قطاعات صغيرة منه فقط . وقاد ذلك الى اكتشاف عدد من البقع التى تشع بنشاط وتدور مع الشمس . ويميل العلماء للاعتقاد ان هذه البقع مرتبطة بالتشكيلات الطفاوية التى شوهدت بالوسائل البصرية . وبهذا أمكن رسم نوع من الخريطة الاجمالية للشمس .

وبالاستعانة بتليسكوبين لهما قاعدة متغيرة ، تمكن الفلكيون اللاسلكيون من تحديد توزيع السطوع اللاسلكى للشمس . وقد وجد انه يزيد أولا بالابتعاد عن مركزها حتى يصل الى قيمة عظمى عند حافة قرص الشمس ثم يقل بسرعة . وكذلك تمكن الفلكيون اللاسلكيون أثناء دراسة الاشعاع اللاسلكى للشمس من « رؤية » ما كان مختفيا عن أعين الفلكيين البصريين : حلقة ساطعة تحيط بقرص الشمس .

وفى السنين القليلة الأخيرة تم اكتشاف آخر ، زاد كثيرا من معلوماتنا عن تركيب الطفاوة الشمسية ، وكان ذلك بالاستعانة بالفلك اللاسلكى . فقد وجدت طفاوة زائفة « شفافة » للضوء المرئى . وفى الوقت الذى كانت فيه المشاهدات الفلكية تظهر ان طفاوة الشمس تمتد الى مسافة نصفى قطر من مركز الشمس (قطر الشمس ٦٩٥٠٠٠ كيلو مترا) أظهرت المشاهدات الفلكية اللاسلكية أن الطفاوة تمتد الى مسافة ٢٠ الى ٣٠ نصف قطر من مركز الشمس .

وسنذكر الآن كيف تم هذا الاكتشاف .

فى ١٤ - ١٥ من يونية كل عام ، تمر الشمس قريبا جدا من سديم كراب الذى يبعد ٥٠٠٠ سنة ضوئية عن الأرض ، وفى هذا الوقت تخسف الشمس هذا السديم .

ولهذا السديم عدد من الخواص التى جذبت انتباه العلماء منذ زمن بعيد ، وبملاحظة الاشعاع اللاسلكى لسديم السرطان أثناء مثل هذا الخسوف ، اكتشف الفلكيون اللاسلكيون أن شدة الاشعاع اللاسلكى بدأت تتغير عندما اقتربت الشمس من هذا السديم بمسافة ٢٠ - ٣٠ نصف قطر شمسى . وكانت الفكرة التى نشأت لدى العلماء أن جزءا من الموجات اللاسلكية القادمة من سديم السرطان قد امتص بواسطة بعض التكوينات والاضطرابات غير المرئية . وقد أظهرت المشاهدات أن طبيعة هذه الاضطرابات تتغير مع دورة الأحد عشر عاما ، أى مثل جميع الظواهر المرتبطة بحياة الشمس ، وكان الاستنتاج المنطقي هو أن هذه التكوينات التى تداخلت مع الاشعاع اللاسلكى لسديم السرطان كانت أيضا ذات أصل شمسى .

ماذا يمكن أن تكون هذه العقبات التي أثرت على الإشعاع اللاسلكي، ومع ذلك ظلت « شفافة » للضوء المرئي ؟ استنتج العلماء أن هذه الاضطرابات تتكون من الكتلونات تركت البلازما (الغاز المتأين) وتحركت بن طول خطوط قوى المجال المغناطيسي للشمس . وخطوط القوى هذه تحافظ على تركيز الالكترونات مثلما تفعل الخراطيم بالمياه بحيث تمنع الالكترونات من التفرق والاضطرابات من الانتشار .

وبهذا زدوتنا الملاحظات الفلكية اللاسلكية بمعلومات عما سمي بالطفاوة الزائدة للشمس وتركيبها .

وتدرس المراصد اللاسلكية الحديثة الإشعاع اللاسلكي للشمس بعدد من التليسكوبات اللاسلكية تعمل على موجات مختلفة الأطوال في وقت واحد ، وتسجل شدة الإشعاع التي يلتقطها كل جهاز استقبال على شريط مغناطيسي ، لأن العلماء يحبون بالطبع أن يقارنوا بين التسجيلات التي تتم في وقت واحد بموجات مختلفة . وقد أدى ذلك الى اكتشاف ظاهرة غريبة . فقد وجد انه اذا سجل أحد التليسكوبات اللاسلكية اندفاعا مفاجئا في الإشعاع اللاسلكي ، تظهر هذه الموجة في التليسكوبات الأخرى ، ولكن يسجلها التليسكوب الذي يعمل على أقصر موجة أولا . وكلما طالت موجة التليسكوب تأخر في تسجيل وصول هذا الاندفاع المفاجيء .

ويبدو هذا للوهلة الأولى غريبا ، لأن الموجات اللاسلكية من جميع الأطوال تمتد في الفراغ بنفس السرعة (سرعة الضوء) وتستغرق حوالى ثماني دقائق لتصل من الشمس الى الأرض ، فلماذا إذن تلاحظ الاندفاعات المتأخرة ذات الموجات الأقصر قبل تلك ذات الموجات الأطول ؟

وقد وجد التفسير سريعا ، اذ توصل العلماء اليه كنتيجة للمقارنة الدقيقة بين تسجيلات التليسكوبات اللاسلكية والارصاد العادية أو الأقلام المسجلة لسطح الشمس بالتليسكوبات العادية .

يتكون جو الشمس والطبقات العليا من سطحها من خليط من الذرات المتأينة والالكترونات الحرة . ويسمى هذا الخليط بلازما (غاز متأين) . وفي أثناء الاضطرابات العنيفة التي يصاحبها ظهور النافورات والاندلاعات على سطح الشمس ، ترتفع كتل من المادة المتوهجة من باطن الشمس الى سطحها ، وعندما تتحرك جزيئات المادة المشحونة كهربائيا حركة عشوائية في المجال المغناطيسي للشمس ، تشع موجات لاسلكية . وبهذا تتولد موجات لاسلكية ذات أطوال مختلفة ، ولكن كلما طالت

الموجة قل سمك طبقة البلازما الشمسية التي تستطيع أن تخترقها بدون أن تعاني امتصاصا كبيرا . لهذا يكون أول ما يصل الى سطح الأرض أقصر الموجات التي تستطيع أن تشق طريقها من أعماق طبقات جو الشمس وهي الكروموسفير . وكلما ارتفع الاضطراب الى طبقات أعلى في بلازما الشمس ، زاد طول الموجات التي يمكنها أن تصلنا ، وبقياس زمن وصول الموجات المختلفة ، يحدد العلماء سرعة امتداد الاضطراب في جو الشمس . وبهذه الطريقة يمكن أيضا حساب العمق الذي بدأت عنده هذه العمليات ، وبهذا تمكن العلماء من الحصول على بيانات عن جو الشمس كان الحصول عليها مستحيلا بطرق البحث الأخرى .

وتتجاوز أهمية هذه المعلومات مجرد العلم بها ، فقد وجد انه بعد حوالي ٢٤ ساعة من حدوث الاندفاعات المفاجئة الشديدة في الاشعاع الشمسي اللاسلكي ، تحدث اضطرابات عنيفة في الاتصالات اللاسلكية على الأرض ، وعلى الموجات القصيرة على وجه الخصوص .

وقد تأكد أن هذه الاضطرابات ناتجة عن الدقائق المشحونة التي تولد اشعاعا شمسيا لاسلكيا قويا أثناء خروجها من باطن الشمس ، ثم تستمر في الفضاء الى أن تصل الى الأرض . وعندما تخترق هذه الدقائق الطبقات العليا من جو الأرض ، تسبب تأينا شديدا فيها ، أشد بكثير من المعتاد ، ويصاحب التفريغ السريع في التأين ظاهرة الشفق القطبي المساطع والعواصف المغناطيسية التي تحدث اضطرابا في الاتصالات اللاسلكية .

وجدير بالذكر أنه يمكن بالحساب البسيط معرفة سرعة هذه الدقائق في الفضاء الخارجي ، إذ تصل الى الأرض بعد حوالي ٢٤ ساعة من الموجات اللاسلكية ، وهذا يعني أن سرعتها أقل ١٨٠ - ٢٠٠ مرة من سرعة الضوء أي حوالي ١٢٠٠ كيلو مترا في الثانية .

النجوم اللاسلكية

ليست الشمس ودرب التبانة المصادر الوحيدة للاشعاع اللاسلكي القوي ، فإن كثيرا من السدم التي تبعد عن الأرض مسافات شحيحة (من السدم القريبة الينا سديم أندروميديا ، وهو يبعد عنا مسافة ١٥٠٠٠٠ سنة ضوئية) مصادر اشعاع لاسلكي أيضا ، وتقرب شدة اشعاعها من شدة اشعاع الشمس . ويتكون مثل هذا السديم من عدة

ملايين من النجوم . ويشبه الاشعاع القادم من هذه النجوم فى طبيعته اشعاع الشمس ، ويضاف اليه الاشعاع الناتج عن حركة الغاز الكونى .

وللاشعاع اللاسلكى المنبعث من بعض السدم الغازية طبيعة غريبة ، اذ لا يتكون السديم من نجوم بل من غازات مخلخلة . وبالمقارنة بسجلات فلكيى العصور الوسطى والبيانات المسجلة فى المخطوطات الصينية القديمة ، أمكن التوصل الى أن بعض هذه السدم موجود فى المكان الذى كان فيه نجم لامع توهج ثم لمع لزمان قصير نسبيا ثم انطفأ ، وتتكون هذه الأجرام المنيرة التى تسمى النوا و زميلاتهما الأكثر سطوعا والتى تسمى السوبرنوا نتيجة لانفجارات ضخمة حدثت عندما توهج فجأة نجم ضعيف لا تراه العين المجردة ، ثم تنافر فى الفضاء على شكل سحابة مخلخلة من غازات تأخذ فى البرودة ، وهذا هو ما يسمى بالسديم . ويتولد الاشعاع اللاسلكى لمثل هذا السديم نتيجة للحركة السريعة العشوائية للإلكترونات التى انطلقت أثناء الانفجار .

وأحد هذه المصادر سديم على شكل السرطان البحرى ويرى بالتليسكوبات القوية كنجم معتم صغير . وقد لاحظ الفلكيون أثناء مشاهدة هذا السديم أن الضوء المنبعث منه لم يكن بنفس الشدة فى جميع الاتجاهات ، اذ تصل شدة الضوء الى أقصاها فى المستوى الموازى للمحور الرئيسى المتجه الى أقصى امتداد للسديم ، وتقل شدة الضوء بالانحراف عن هذا الاتجاه حتى ولو بدرجات قليلة . ولم يسبق للعلماء أن شاهدوا مثل هذا الاستقطاب الخطى فى أى مصدر كونى آخر .

وقد جرب الفلكيون اللاسلكيون تليسكوباتهم مع سديم السرطان أيضا ، فاكتشفوا ظاهرة غريبة نوعا ما ، اذ اتضح أن الاشعاع اللاسلكى لسديم السرطان كان أشد كثيرا من ضوءه .

وقد وضع العالمان السوفيتيان شكولوفسكى وجينزبورج نظرية تفسر هذه الظاهرة . وتقول هذه النظرية ان السبب فى هذا الشذوذ قد يرجع الى الكترونات « غير مرئية » للفلكيين البصريين تتحرك بطاقة كبيرة جدا فى مجالات السديم المغناطيسية الضعيفة ، وتولد اشعاعا لاسلكيا قويا نتيجة لتباطؤها بفعل هذه المجالات ، ولكن تتطلب هذه النظرية أن يكون الاشعاع اللاسلكى مستقطبا استقطابا خطيا كالضوء المنبعث من هذا السديم .

ولزمن طويل لم يتمكن الفلكيون اللاسلكيون من اكتشاف هذه الظاهرة . فقد كان الاستقطاب المتوقع صغيرا جدا ، ولا عجب اذا كانت جودة المعدات المستخدمة قد لعبت دورا عظيما .

وحديثاً جداً اكتشفت الظاهرة المتوقعة على موجة طولها ١٠
مستقيمات . وثبت أن الإشعاع اللاسلكي لسديم السرطان مستقطب
أيضاً وفي نفس المستوى المستقطب فيه الضوء ، ولكن بدرجة أقل .

وبهذا عززت المشاهدات الفلكية اللاسلكية نظرية منشأ الموجات
اللاسلكية في السديم الغازي ، وهذا يؤكد أيضاً افتراضاً نظرياً هاماً
آخر بخصوص أصل أشعة الدقائق الكونية .

فإذا احتوى سديم غازي على الكترونات ذات طاقة عظيمة - الأمر
المميز للدقائق الكونية - فلا بد وأن تكون هناك أيضاً الدقائق المناظرة
ذات الشحنة المضادة ، وهي نوى المادة ، لأن الالكترونات والتواء جزءان
من كل - هو ذرة المادة - مشحونان بشحنتين متضادتين . لذلك فمن
المحتمل جداً أن تكون الدقائق الكونية المشحونة التي تشاهد عند الأرض
هي نفس الدقائق التي تنشأ في نفس الوقت مع الالكترونات أثناء انفجار
نجم ليولد سديم غازي مثل سديم السرطان مثلاً .

وهناك ظاهرة أعظم من هذه ومرتبطة بنوع آخر من السدم اللاسلكية
مثل سديم « الدجاجة - أ » . فقد ظهر أن هذا السديم الذي يبعد عنا
بحوالى ٢٠٠ مليون سنة ضوئية ما هو الا مجرتين (مثل مجرتنا درب
التبانة) في حالة تصادم .

ويجب ملاحظة أنه عند تصادم مجرتين ، يكون التصادم المباشر
للعنجوم نادراً جداً ، لأن المسافة بينها أكبر بكثير من أبعادهما . ولكن
المسافات بين المجرات لا تزيد على ١٠ أو ٢٠ مرة قدر المجرات نفسها ،
مما يجعل وقوع التصادم بينها أكثر احتمالاً . وهذا الاحتمال هو نفس
احتمال التصادم بين كرتي بلياردو تتحركان حركة عشوائية على مائدة
البلياردو ، وتتصادم مجرتان تقريباً من كل مليون مجرة شوهلت .

ولكن ما الذي « يتصادم » أثناء هذه « الحوادث » المجرية إذا كان
احتمال تصادم النجوم ضئيلاً بهذا القدر ؟ وجد أن سحب الغاز الكوني
في المجرتين هي التي تتصادم ، وينتج عن هذا التصادم موجة تصادم
عظيمة تتحرك بطول كلا السحابتين بسرعة تزيد على ألف كيلو متراً في
الثانية (وعلى سبيل المقارنة ، تدور الأرض في مدارها حول الشمس
بسرعة ٣٠ كيلو متراً في الثانية فقط) . ولكن حتى بهذه السرعة
العظيمة تستغرق الموجة أكثر من ١٠ مليون سنة لتنتقل من أول المجرة
إلى آخرها . وفي أثناء هذه المدة بكاملها ، يستمر التصادم ويصاحبه
إشعاع قوى من الموجات اللاسلكية .

وقد كتب الكثير عن النجوم اللاسلكية فى السنين الأولى للفلك اللاسلكى ، وفى ذلك الوقت كان عدد من مصادر الاشعاع القوى على الموجات المترية قد اكتشف بالإضافة الى الاشعاع اللاسلكى للشمس ودرب التبانة ، وكان هذا الاشعاع يبدو كأنه صادر من مصادر على هيئة بقع صغيرة ، ولهذا كان من الطبيعى افتراض أن مصادر هذا الاشعاع نجوم ساطعة ، وأن طبيعة الاشعاع شبيهة بالاشعاع اللاسلكى للشمس ، ولكن لم يتمكن أحد من العثور على نجوم ساطعة فى هذه النقط من السماء التى يأتى منها الاشعاع . وقد اقترح العلماء أن هذا الاشعاع يأتى من مصادر ذات طبيعة غريبة ، أى من نجوم لاسلكية تشع موجات لاسلكية قوية ، ولكن لا تشع ضوءاً مرئياً . وأخيراً وجد حل لهذا اللغز ، واكتشف أن النجوم اللاسلكية ما هى الا سدم بعيدة جداً تشع موجات لاسلكية ولا يمكن رؤيتها بوضوح ، وهى التى ذكرناها فيما سبق .

ثم اكتشف العلماء اشعاعاً لاسلكياً قادماً من القمر ، وبينما نجد أن ضوء القمر ضوء منعكس من الشمس ، فإن الاشعاع اللاسلكى للقمر هو اشعاع حرارى له مميزاته الخاصة . ومن المعروف أن درجة سطوع القمر تختلف كثيراً بين طورى الهلال والبدر ، وقد أظهرت قياسات الأشعة تحت الحمراء أن درجة حرارة سطح القمر تتغير من - ١٥٠ درجة مئوية عند منتصف الليل القمري الى + ١٣٠ درجة مئوية أثناء النهار القمري ، الا أن الاشعاع اللاسلكى للقمر (على موجة طولها حوالى ثلاث سنتيمترات) يظل ثابتاً على مدار النهار والليل القمريين ، وتفسير هذا أن الموجات اللاسلكية للقمر لا تنبعث من سطحه ، ولكن من عبق معين تحت سطحه . ومن الواضح أن سطح القمر يتكون من غبار ناعم ذو موصلية حرارية ضعيفة للغاية يعمل كمعطف دافئ يحتفظ بدرجة حرارة ثابتة وإن كانت منخفضة .

وهناك عدد من النظريات عن أصل هذه الطبقة من الغبار ، وتقول أحدها أن هذه الطبقة تكونت على سطح القمر نتيجة لسقوط ملايين من الشهب الكبيرة والصغيرة والدقيقة على سطحه . وقد كان من الممكن أن تواجه الأرض نفس المصير ، لو لم تكن مغلقة بغلاف واق متين هو الغلاف الجوى . فلا تستطيع الشهب أن تصل الى سطح الأرض ، لأنها تحترق فى غلافها الجوى ، ولكنها تصل الى سطح القمر بلا عتبة ، لأن الغلاف الجوى للقمر - أن وجد - صغير جداً . وتقول نظرية أخرى أن طبقة الغبار تكونت نتيجة لتخلل الصخور الذى حدث بسبب التغير الشديد فى درجة الحرارة .

وقد تم الحصول على جميع البيانات المذكورة آنفا بالطرق الفلكية
الاسلكية السلبية ، فان التليسكوب اللاسلكي - مثله في ذلك مثل
التليسكوب البصري المعتاد - يستقبل الاشعاع الصادر من الأجسام
الفلكية .

دور الرادار في الفلك

وهناك فرع آخر من فروع الفلك اللاسلكي - وهو الفرع الفعال أو
الرادار . وهو حتى الآن لا يمكنه معالجة الا الاجسام القريبة : الشهاب
والقمر (★) .

وتتم الأرصاد الرادارية للقمر في الوقت الحاضر على موجات يتراوح
طولها من ١٠ سنتيمترات الى عدة أمتار . وقد مهدت هذه الأبحاث الطريق
أمام الفحص التفصيلي لسطح القمر في المستقبل . أما الآن فانها تمدنا
بمعلومات اضافية هامة عن تركيب جو الأرض . وتعتبر هندسة الرادار
في الوقت الحاضر في موقف يسمح لها بالقيام بتطوير الأجهزة ، حتى
يمكن مراقبة الشمس والزهرة .

ومن أهم الدراسات مشاهدة النجوم الساقطة أو الشهاب باللاسلكي .
وتزيد هذه الشهاب بصفة خاصة في ليالي أغسطس ، فتظهر
حينئذ أعداد كبيرة تصل الى المئات والآلاف من النجوم الدقيقة وتختفي
أمام العين ، وفي مثل هذه الأوقات يقال ان هناك مطرا من النجوم .

يعلم كل تلميذ اليوم أن النجوم الساقطة ما هي الا دقائق صغيرة من
المادة تسمى الشهاب . وهي تدخل جو الأرض بسرعة تصل الى عشرات
الكيلو مترات في الثانية ، وترتفع درجة حرارتها بالاحتكاك مع الهواء الى
أن تصبح يضاء من شدة الحرارة وتحترق على ارتفاع عدة عشرات من
الكيلومترات من سطح الأرض . وتخترق الشهاب الكبيرة - وبخاصة
إذا كانت سرعتها منخفضة نسبيا - جو الأرض الى أن تصل الى الطبقات
السفلى منه . ويصل أكبرها بالفعل الى سطح الأرض .

ويظل عدد الشهاب التي تدخل جو الأرض كل ثانية - في المتوسط -
ثابتا ، وهذا يعني أن كثافة الدقائق الصغيرة من المادة لا تتغير كثيرا

(★) تم أخيرا إرسال البيانات الرادارية إلى الشمس واستقبالها - لترجم .

في مختلف مناطق الفراغ الذي تخترقه الأرض . وفي أثناء مطر النجوم تدخل الأرض في مناطق تحتوي على عدد من دقائق الشهب أكبر من المتوسط بكثير .

وقد تأكد في عدد من الحالات أن مطر النجوم ما هو إلا بقايا مذنب تحلل الى عدد كبير من الأجزاء المنفصلة . ومن هذا نرى أن دراسة تيارات الشهب لها أهمية عظمى في دراسة تكوين المجموعة الشمسية .

وتعتمد الأبحاث الخاصة بالشهب والتي يستخدم فيها الرادار ، على انعكاس الموجات اللاسلكية عن الآثار التي تخلفها الشهب ، إذ لا تحرق الحرارة الناتجة عن الاحتكاك بالهواء الشهاب فحسب ، بل تؤين جزيئات الهواء أيضا بطول مساره . ويستمر التآين بعض الوقت بعد أن تبرد دقائق الشهاب المتبقية من احتراق الشهاب وتكف عن إشعاع الضوء . ويمكن معرفة السرعة التي تتحرك بها هذه الآثار والزمن الذي تستغرقه حتى تشتتت من دراسة الرياح في الطبقات العليا من الجو وذلك يعطينا بيانات أخرى قيمة .

ومن النواحي الهامة بصفة خاصة ، أن الطرق التي تستخدم الرادار تسمح بمراقبة الشهب خلال السحب وأثناء النهار ، الأمر المستحيل تماما بطرق المراقبة المعتادة . وقد مكن هذا من جمع كمية كبيرة من البيانات الهامة - في وقت قصير نسبيا - عن تيارات الشهب ، الأمر الذي له أهمية خاصة في تصميم صواريخ الفضاء .

فلابد أن يعرف مصممو الصواريخ ، ما هو احتمال التصادم مع الأجسام الكونية ، وما هو معدل ظهور الشهب الكبيرة ، وأين تقع ممرات تيارات الشهب الشديدة ، وكيف يمكن أن ينتقى أسلم مسار للصاروخ ؛ إذ أن الشهب تتحرك بسرعة تزيد عشرات المرات على سرعة الرصاصة ويمكنها أن تخترق جدران الصاروخ . ولا يمكن جعل الجدران سميكة جدا ، لأن ذلك يزيد من وزن الصاروخ كثيرا . وفي نفس الوقت يجب أن تكون هذه الجدران على درجة دنيا من المثانة لا يصح أن تقل عنها . ويلزم في هذه الحالة الحصول على البيانات الأساسية المطلوبة لتصميم جدران الصواريخ بمراقبة الشهب بالرادار .

وقد أدت دراسة آثار الشهب باستخدام الرادار الى ظهور تكتيك جديد للاتصالات باستخدام الموجات الفائقة القصير لمسافات تصل الى ١٥٠٠ كيلو مترا . وتعتمد هذه الطريقة على انعكاس الموجات اللاسلكية من

الآثار المتأينة للشهب في طبقات الجو العليا . وقد أظهرت المشاهدات أن مئات من الشهب تظهر كل ساعة بين أية نقطتين على الأرض المسافة بينهما ١٥٠٠ كيلو مترا . ويمكن استخدام آثارها في هذه الطريقة الجديدة للاتصال اللاسلكي . وبالرغم من أن الشهب لا تظهر بانتظام ، فإن عول الاتصال يكون عاليا بحيث يتم استقبال ما لا يقل عن ٩٥ في المائة من الارسلات بدون تشويه .

ويعمل هذا النظام بالطريقة التالية ، تقام في كل من طرفي الوصلة اللاسلكية محطات ارسال واستقبال للموجة الفائقة القصير تعمالان يتردد من ٣٠ الى ٦٠ ميغاسيكل وبحيث يوجه هوائياهما على نفس المنطقة من الأيونوسفير . وتعمل المحطتان باستمرار ، ولكن لا يتم الاتصال بينهما الا عند ظهور أثر لشهاب في تلك المنطقة من الأيونوسفير . ففي هذه اللحظة تتم قناة الاتصال ويستقبل كل من جهازى الاستقبال اشارة معينة من المحطة الأخرى ، فتبدأ معدات التلغراف على السرعة في العمل اوتوماتيكيا وترسل الرسائل التي تكون مسجلة على شريط ومجهزة للارسل . وتسجل الرسائل المستقبلية على شريط أيضا .

وتستغرق كل فترة ارسال من عدة أجزاء من الألف من الثانية الى عدة ثوان حسب شدة الأثر وظروف تشتته ، ويتم الارسلات بسرعة تزيد على ٣٠ كلمة في الثانية ، ويسمع قصر كل فترة والظهور العشوائي للشهب بمتوسط للارسل يبلغ ٤٠ كلمة في الدقيقة ، وهو رقم مقبول تماما .

ومن مميزات هذه الطريقة الجديدة انخفاض القدرة اللازمة لأجهزة الارسل وقلة التأثير بالتداخل والدرجة العالية من السرية التي يتم بها الاتصال .

وفي الختام ، يجب أن نذكر انه بالإضافة الى خلق علم جديد وهو الفلك اللاسلكي ، تشق الهندسة اللاسلكية طريقها أيضا الى الفلك البصرى المعتاد ، إذ أن هناك - ضمن أشياء أخرى - طريقة اوتوماتيكية لتسجيل اللحظة التي يمر فيها نجم ما في مستوى الزوال ، ومثل هذا القياس هام جدا في الخدمات المتعلقة بتحديد الوقت . ولهذا الغرض ، توضع خلية ضوئية في بؤرة تليسكوب .

ومن الأمور المعقدة جدا ، الطريقة المتبعة في تصوير نجم أو سديم ضعيف بالتليسكوب البصرى . إذ يكون في غاية الأهمية أن يظل

التليسكوب متتبعا للنجم تتبعنا دقيقا أثناء فترات التصوير البطيئة للحصول على صور فوتوغرافية عالية الجودة .

وقد استخدمت المعدات التليفزيونية أخيرا فى الأرصاد الفلكية . وقد نشأ ذلك باعتبار انه عند تصوير الاجرام السماوية الضعيفة - وبخاصة الطيف المنبعث منها - فان زمن التعريض يعتمد على عاملين : حساسية المادة الفوتوغرافية ، وحجم التليسكوب . ولا يمكن زيادة الواحد فيهما أو الآخر كثيرا فى الوقت الحاضر . ويكفى أن نقول هنا ان أكبر تليسكوب عاكس موجود الآن وهو الموجود فى مونت بالومار تكلف ستة ملايين دولار ، واستغرق بناؤه عشرين سنة .

وكما نعرف الآن ، مكنت ظاهرة اختزان الشحنة ومبدأ التضاعف الألكترونى الثانوى من صنع أنابيب كاميرا ذات حساسية عالية . وبوضع إحدى هذه الأنابيب فى بؤرة تليسكوب أو مقياس طيف فلكى ، بدلا من اللوح الفوتوغرافى ، أمكنت مشاهدة موجات الضوء الضعيفة القادمة من الأجرام السماوية بوضوح أكبر .

وقد أمكن الحصول على صور فوتوغرافية للشمس من شاشة أنبوب صورة متصل بأنبوب كاميرا موضوع فى بؤرة تليسكوب وذلك باستخدام الأشعة فوق البنفسجية وتحت الحمراء على صور عادية أيضا للقمر والمشتري وزحل . وقد أظهرت صور القمر فجوات صغيرة بوضوح ، كما أظهرت صور المشتري بقعا مميزة . وبالمقارنة بين هذه الصور الفوتوغرافية والصور المعتادة ظهرت ميزة الطريقة الجديدة ، فقد أظهرت صور الشمس التى التقطت بالطريقة الجديدة تفاصيل لم تر من قبل ، لا بالتصوير الطيفى ولا بالعين .

وجدير بالذكر أن الخطوات الأولى نحو استخدام التليفزيون فى الفلك تمت على أيدي خبراء لاسلكيين كانوا فلكيين هواة يعملون مع فلكيين محترفين .

التحليل الطيفي اللاسلكي

نشأ علم دراسة الظواهر الطيفية اللاسلكية من تزاوج الفيزياء اللاسلكية مع الوسائل الهندسية اللاسلكية. مستخدمة في دراسة تركيب الجوامد والسوائل وخواص الجزيئات والذرات والنسوى والأبحاث الخاصة وآليات التفاعلات الكيميائية . واسم هذا العلم الجديد يدل على أنه يدرس المواد عن طريق طيفها ، أو بعبارة أدق طيفها اللاسلكي .

ويلعب الطيف وتحليله دورا هاما في الهندسة اللاسلكية ، وقد ابتكرت أجهزة خاصة تسمى محلات الطيف لتحليل طيف الاشارات التليفزيونية واشارات التداخل والأصوات الصادرة من مختلف الآلات الموسيقية .

ويدرس علم التحليل الطيفي اللاسلكي الذي سنتناوله بالبحث في هذا الفصل اشارات مختلفة تماما عما ذكر ، ويصدر هذه الاشارات ليس كاميرات تليفزيونية أو آلات موسيقية ، ولكنه الذرات والجزيئات .

وقد جذب تحليل الضوء - الذي تبعته مختلف المواد أو تمتصه - العلماء منذ زمن طويل . وابتكرت عدة أنواع مختلفة من مناظير التحليل الطيفي لهذا الغرض ، وبوساطة مناظير التحليل الطيفي البصرية ، يمكن تحديد تركيب الصلب أو البترول ، ودرجة حرارة النجوم البعيدة وتركيبها ، ودراسة تكوين الذرات والجزيئات .

ويدرس علم التحليل الطيفي اللاسلكي - وهو علم جديد لم ينشأ الا منذ عقد واحد - أيضا الجزيئات والذرات والنوى الذرية ، ولكن ذلك لا يتم بموجات الضوء ، وانما بالموجات اللاسلكية ، وعلى الخصوص تلك الواقعة في النطاق السنتيمترى . ومن هنا تختلف أجهزة التحليل الطيفي اللاسلكي عن مناظير التحليل الطيفي المستخدمة في تحليل الضوء المرئي

اختلافا بينا ، كما وأنها لا تشبه أجهزة تحليل الطيف المستخدمة في دراسة الاشارات اللاسلكية .

ولقد جاءت الحقائق التي أدت الى نشأة علم التحليل الطيفي اللاسلكي نتيجة للمحاولات التي قام بها البعض لاستخدام موجات أقصر من ثلاثة سنتيمترات للرادار . وقد واجهت هذه المحاولات صعوبات كبيرة . اذ وجد أن الموجات اللاسلكية التي طولها حوالي سنتيمتر واحد أو نصف السنتيمتر تمتص امتصاصا كبيرا في الجو . وقد أثر ذلك على مدى أجهزة الرادار التي تعمل على هذه الموجات .

وقد أظهرت الأبحاث الأساسية التي قام بها ، عام ١٩٤٢ ف.ل. جينز بورج العضو المراسل في أكاديمية العلوم السوفيتية ، ثم أكملها علماء آخرون أن هذا الامتصاص كان أساسا نتيجة لوجود بخار الماء في الجو . كما وجد أن بخار الماء يمتص الموجات اللاسلكية في النطاق من ١.٢ الى ١.٦ سنتيمترا امتصاصا كبيرا . وقد أكدت التجارب هذه الحسابات . وكنتيجة لهذا ، لم ينتشر استخدام الرادار العامل على الموجات من ١ الى ٢ سنتيمترا . ولكن الاهتمام بأمرها كان قد بدأ .

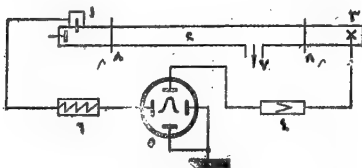
ملك الرادار ناصية استخدام نطاق الموجات الأقصر من ذلك ، بينما بدأ العلماء في دراسة الظاهرة المكتشفة حديثا . وتذكر العلماء أن س.ي. كليتون و ن.ه. وليامز كانا قد قاما بدراسة امتصاص الموجات اللاسلكية في الأمونيا عام ١٩٣٤ . وقد استخدموا جهازا كان هجينا بين منظار التحليل الطيفي البصري ودوائر اللاسلكي العادية . وكان مصدر الموجات اللاسلكية صمام الماجنترون .

ويعتبر عام ١٩٤٦ عام المولد الفعلي للتحليل الطيفي ، لأنه في ذلك العام ظهرت أكثر من عشر مقالات عن الدراسات الخاصة بامتصاص موجات اللاسلكي السنتيمترية في بخار الماء والأكسجين والأمونيا وغازات أخرى تحت ضغط منخفض ، وعن تصميم أول أجهزة تحليل طيفي لاسلكي الغرض منها القيام بهذه الدراسات وعن الأبحاث الأساسية المرتبطة بتلك الدراسات .

أجهزة التحليل الطيفي اللاسلكي

جهاز التحليل الطيفي الحديث جهاز معقد نسبيا . وهو يختلف تماما عن مناظير التحليل الطيفي البصرية ، فهو لا يحتوي على منشهر زجاجية أو شقوق بصرية ، ولكنه مثال للجهاز اللاسلكي البحث

(شكل ٣٦) • وتستخدم أكثر أنواع أجهزة التحليل الطيفي اللاسلكي شيوعا عشرات من الصمامات الالكترونية المختلفة ، ويكون مصدر الموجات اللاسلكية فيه صمام من نوع خاص مثل الكلايسترون العكاسي الذي تكلمنا عنه من قبل في هذا الكتاب • وأهم سماته أنه يمكن مواءمة الذبذبات المتولدة منه بدون مجهود كبير ، وبدون استهلاك كبير للطاقة ، وذلك بتغيير الفلطة المسطحة على أحد الالكترونات ، وهو العاكس • وتغذى الموجات اللاسلكية التي يشعها الكلايسترون عن طريق دليل موجي (أنبوب معدني مستطيل المقطع) الى كاشف بللوري ، ثم تكبير الإشارة الخارجة منه وتسلط على أنبوب راسم للذبذبات الكهربائي أو تسجل على شريط •



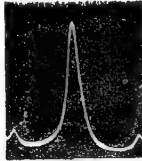
(شكل ٣٦) : الرسم التخطيطي لجهاز تحليل طيفي لاسلكي بسيط

- ١ - كلايسترون ٢ - خلية امتصاص ٣ - كاشف ٤ - مكبر
٥ - راسم ذبذبات باشعة المهبط ٦ - مولد ذبذبات أسنان النشار
٧ - اى مضخة ومانومتر ووسيلة ادخال الغاز المراد دراسته ٨ - ثلاثة من الميكات

وتحتوى أبسط أجهزة التحليل الطيفي اللاسلكية المصممة لدراسة امتصاص الموجات اللاسلكية في الغازات على جزء منفصل من الدليل الموجي بين الكلايسترون والكاشف يفصل عن باقي الجهاز بنافذتين محكمتين من الميكات ، بحيث لا تنفذ منهما الغازات ومضخات خاصة لتفريغ الهواء من هذا القسم • وتدخل الغازات المراد اجراء الاختبارات عليها الى هذه الغرفة المفرغة • ويسمى هذا القسم من الدليل الموجي المزود بنوافذ الميكات ووسائل ادخال الغاز المفرغ بخية الامتصاص •

ويعمل جهاز التحليل الطيفي اللاسلكي البسيط كما يلي : يغير مولد ذبذبات أسنان النشار تردد الكلايسترون دوريا • ويقضى نفس المولد فلطية المسح الأفقى للشعاع الساقط على شاشة أنبوب راسم

الذبذبات الكهربيائي مما يحرك الشعاع دوريا بمعدل ثابت من احدي حافتي الشاشة الى الحافة الأخرى . فاذا لم يكن بخلية الامتصاص أى غاز وكان جهاز التحليل الطيفي اللاسلكي موالفا موالفة صحيحة ، تظن الطاقة التي يغذيها الكلايسترون للكاشف ثابتة ويتحرك الشعاع فى خط مستقيم على شاشة الأنبوب . فاذا دخل غاز خلية الامتصاص وكان خطه الطيفي ضمن نطاق الترددات التي تمسحها اشارة الكلايسترون ، فان الطاقة المسطرة على الكاشف تتغير مع التغير فى تردد الكلايسترون . وذلك لأن الغاز يمتص الموجات اللاسلكية التي ينطبق ترددها مع تردد كل خط من خطوطه الطيفية . ولهذا تقل الطاقة التي تصل الى الكاشف بهذه الترددات عن تلك التي تصل اليه بموجات ذات تردد مختلف ، وتسجل التغيرات فى الطاقة مع التغير فى تردد الكلايسترون على شاشة جهاز التحليل الطيفي اللاسلكي ، وبدا من خط مستقيم ، يرى المشاهد خطا منحنيا يمثل صورة الخط الطيفي ، ويشبه الخط الطيفي على شاشة راسم الذبذبات منحني رنين الدائرة الموالفة الى حد كبير (شكل ٣٧) .



(شكل ٣٧) الخط الطيفي لجزء الامونيا

الخطوط الطيفية

الخطوط الطيفية التي نحصل عليها بواسطة جهاز التحليل الطيفي اللاسلكي ، هي نتيجة للتفاعل بين الموجات اللاسلكية وجزيئات الغاز .

وقد عرف التفاعل بين الذرات والجزيئات والمجال المغناطيسى الكهربيائي منذ زمن طويل ، فملح الطعام يصبغ اللهب الأزرق المنبعث من مصباح الغاز بلون أصفر ناصع ، بينما اذا سخنت كاوية اللحم المصنوعة من النحاس بشدة فانها تصبغ اللهب بلون أخضر ناصع . هذا نتيجة للخط الأصفر الناصع فى طيف الصوديوم الموجود فى ملح الطعام فى

الحالة الأولى ، والخط الطيفي الأخضر للنحاس في الحالة الثانية . وبمشاهدة اللهب المصبوغ في جهاز تحليل طيفي ، يمكننا أن نعرف ما اذا كان اللهب يحتوي على أبخرة الصوديوم أو النحاس أو أحد العناصر الكيميائية الأخرى .

ومن المعروف جيدا أن ضوء الشمس يحتوي على جميع ألوان قوس قزح . وبانعكاسه خلال قطرات الماء أو منشور زجاجي يتحلل إلى نطاقات من الضوء تتغير تدريجيا في اللون من الأحمر إلى البنفسجي وهذا هو ما يظهر للعين المجردة ، ولكن الفحص الأدق يظهر أن الطيف الشمسي يحتوي على خطوط ضيقة معتمة تسمى خطوط فراونهوفر وذلك على اسم مكتشفها . وهذه الخطوط المعتمة نتيجة لامتنصاص الضوء المنبعث من السطح المتوهج للشمس في الغازات الباردة نسبيا الموجودة في الطبقات العليا لجو الشمس . وقد أثبت فراونهوفر أن ترتيب الخطوط المعتمة في الطيف الشمسي ينطبق على ترتيب الخطوط الطيفية للصوديوم والنحاس وباقي العناصر التي ترى في الأطياف التي تظهر في مصابيح الغاز . وثبت بعد ذلك أن الغازات الباردة تمتص دائما الضوء ذا الموجة التي طولها هو نفس طول الموجة التي تشعها عندما ترتفع درجة حرارتها . وقد نتج عن ذلك أنه بدراسة الخطوط المعتمة في طيف الشمس والنجوم - أمكن التوصل إلى معرفة الغازات التي تكون غلافها الخارجي البارد نسبيا وبهذه الطريقة اكتشف أن الشمس تحتوي على عنصر لم يكن معروفا حتى ذلك الحين وهو الهليوم الذي يظهر على الأرض كنتيجة لانحلال بعض العناصر المشعة .

وتعتبر دراسة خطوط الضوء (أو الاشعاع) والخطوط المعتمة (أو الامتنصاص) أساس التحليل الطيفي . إذ يتميز كل عنصر كيميائي بخطوط محددة ذات أطوال موجية محددة . ويتكون الطيف البصري لعنصر ما من ترتيب محدد لهذه الخطوط ، أو ما يمكن أن يسمى « جواز السفر المرئي » لهذا العنصر . إذ يكفي أن ينطبق خط من خطوط الامتنصاص أو الاشعاع على خط لعنصر معين ليثبت وجود ذلك العنصر ، بينما تؤدي الدراسة الأكثر تفصيلا إلى بيانات إضافية عن درجة الحرارة والضغط والمجالات الكهربائية والمغناطيسية عند مصدر الطيف تحت الدراسة .

ويمكن للطيف أن يعين عنصرا كيميائيا أو مجموعة من العناصر ، حيث أن هناك علاقة بين وجود مجموعة من خطوط طيفية معينة وتركيب

ذرات المادة أو جزيئاتها • وينتج كل خط من الخطوط الطيفية من زحزحة ذرة (أو جزيء) من مستوى طاقة معين الى مستوى آخر ، ويصاحب هذه الزحزحة اشعاع جزء معين من الطاقة أو امتصاصها ، ويكون الاشعاع أو الامتصاص على هيئة موجة مغناطيسية كهربائية ذات طول معين ، وأحيانا تكون هذه الموجة ضوئية وأحيانا أخرى لاسلكية •

ويقوم علماء البصريات - عند دراستهم للضوء المرئي المنبعث من المصادر الارضية - بدراسة الطيف الاشعاعي ، وهو يتكون من خطوط طيفية ناصعة على أرضية معتمة • ولا تدرس خطوط امتصاص الضوء المرئي كثيرا • وغالبا ما تكون هذه الدراسات - اذا تمت - أثناء دراسة المصادر الفلكية ، بينما يدرس علماء البصريات غالبا طيف الامتصاص عند استخدام الأشعة تحت الحمراء غير المرئية وذلك لعدد من الاسباب • وهنا يمرر الشعاع المنبعث من جسم مسخن خلال الغاز البارد (أو السائل أو البللور) المراد دراسته ، ويستخدم علماء البصريات - لتحليل الضوء المرئي أو الأشعة تحت الحمراء الى طيف - منشورات زجاجية أو مصنوعة من مادة شفافة أخرى ومحزوزات حيود خاصة وأدوات أخرى (تستخدم في حالة الأشعة تحت الحمراء منشورات من الأبونيت أو احدي المواد الأخرى المعتمدة بالنسبة للضوء ولكنها شفافة للأشعة تحت الحمراء) •

ويدرس الباحثون غالبا طيف الامتصاص عند العمل في النطاق اللاسلكي ، كما في حالة نطاق الأشعة تحت الحمراء •

من المعلوم أن كثيرا من الجزيئات وعددا من الذرات يكون لها خطوط طيفية موجاتها أطول بكثير من موجات الضوء المرئي بحيث تقع في النطاق اللاسلكي • ولهذه الخطوط أيضا علاقة بانتقال الجزيء أو الذرة الى مستوى طاقة آخر ، ولكن التغير في الطاقة المصاحب لهذا الانتقال يكون صغيرا نسبيا وبالتالي فإن تردد الموجات المغناطيسية الكهربائية التي تصاحب هذا الانتقال يكون منخفضا نسبيا ، ويمكن الكشف عنه بالأجهزة اللاسلكية •

وبالطبع عندما نقول ان تردد هذه الذبذبات المغناطيسية الكهربائية منخفض فاننا نقصد ذلك بالنسبة لتردد الذبذبات المغناطيسية الكهربية للضوء المرئي ، ولكنه يقع عادة في نطاق عشرات الآلاف من الميجاسيكل في الثانية ، أى أعلى بكثير من تردد الموجات اللاسلكية المستخدمة في الاذاعة والتليفزيون ، إذ أن هذا النطاق من الترددات هو نطاق تردد الرادار •

الخطوط الطيفية على شاشة

إذا فرضنا وعزلنا جزيئا لمادة ما وكان لهذا الجزيء خطوط طيفية ضمن النطاق اللاسلكي ، فانه يشع أو يمتص الموجات اللاسلكية ذات التردد المحدد « بالضبط » . ويمكننا استخدام كلمة « بالضبط » هنا دون غشاضة لأن « التفاوت المسموح به » - أي الفرق بين الترددات التي يمكن ان يشعها الجزيء المنفرد أو يمتصها - قيمته : ١٠ - ١٨ للنطاق السنتيمترى . وبعبارة اخرى لا يمكن ان يتغير هذا التردد بأكثر من جزء من بليون بليون .

ولكن كمية الطاقة التي يشعها جزيء واحد أو يمتصها من الضالة بحيث لا تمكن ملاحظتها ، ولهذا كان من الضروري ان تعتمد التجارب على تبادل الفعل بين الموجات اللاسلكية (وكذلك موجات الضوء) وعدد كبير من الجزيئات . ولكن الجزيئات في هذه الحالة ، لا تتبادل الفعل مع الموجة المغناطيسية الكهربائية وحدها ولكن مع بعضها البعض أيضا . اذ تصطدم الجزيئات ببعض وبجدران الوعاء الذي يحتوى الغاز تحت الاختبار ، وذلك نتيجة لحركتها العشوائية في الفضاء . ويؤثر هذا التصادم الى حد ما على حالة الجزيء . ونتيجة لذلك فان انتقال الجزيء من حالة الى أخرى يصاحبه اشعاع أو امتصاص موجة مغناطيسية كهربائية يختلف ترددها قليلا عن التردد المميز لجزيء منفرد ، وكلما زاد الاصطدام وزادت قوته - زاد الاختلاف ، وتزيد فرصة الاصطدام كلما زاد عدد الجزيئات في الوعاء ، أى كلما زاد ضغط الغاز . وتعتمد قوة الاصطدام أيضا على درجة الحرارة ، اذ تزيد سرعة الاثارة العشوائية الحرارية للجزيئات بزيادة درجة الحرارة ، وبالتالي تزيد طاقة تبادل الفعل بين الجزيئات بعضها مع البعض بزيادة درجة الحرارة . وهكذا كلما زادت درجة حرارة الغاز وضغطه ، زاد الفرق بين تردد الموجات المشعة أو الممتصة مما يزيد من عرض الخطوط الطيفية .

ونتيجة لذلك ، نجد انه تحت الضغط الجوى المعتاد ودرجة حرارة الغرفة ، يكون عرض الخطوط الطيفية في النطاق السنتيمترى كبيرا ، حتى ان الخطوط الفردية تندمج بعضها في البعض ولا يمكن رؤيتها منفصلة . وهذا هو السبب في ضرورة الاحتفاظ بضغط الغاز في حدود جزء من مائة جزء من الضغط الجوى اذا اريد رؤية الخطوط الطيفية منفصلة . وفي هذه الحالة يكون « التفاوت المسموح به » للجزيء عند امتصاصه للموجات التي يتراوح طولها بين سنتيمتر واحد وسنتيمترين حوالى جزء من عشرة آلاف من التردد ، وهذا يعنى انه في حدود نطاق التحليل الطيفى اللاسلكى

المستخدم يمكن مشاهدة الملايين من الخطوط الطيفية غير المندمجة . وإذا كان الغاز محل البحث لا يتحول الى سائل في درجات الحرارة المنخفضة نسبيا ، فاننا بتبريده بالثلج الجاف أو الهواء السائل نستطيع خفض السرعات الجزيئية الحرارية الى حد كبير . مما يخفض من عدد التصادمات بين الجزيئية وبالتالي تضيق الخطوط الطيفية عشرات المرات وبهذا امكن فصل الخطوط الطيفية المتلاصقة .

وفي الطيف الضوئي نلاحظ تغيرات مشابهة في شكل الخطوط الطيفية ولكن الخطوط في هذه الحالة تظهر على شكل نطاقات ساطعة أو معتمة . ويجب القيام بقياسات مرهقة معقدة لدرجة سطوع الأجزاء المختلفة من الخط المرصدة شكله .

ويسهل التحليل الطيفي اللاسلكي حل هذه المشكلة الى درجة كبيرة ، اذ ترسم صورة منحني الخط الطيفي على شاشة جهاز التحليل الطيفي اللاسلكي ، ويتغير ضغط الغاز أو درجة حرارته في خلية الامتصاص بالجهاز ، وبذلك تمكن رؤية التغيرات المناظرة في شكل الخط الطيفي في الحال .

وتمكن الطريقة اللاسلكية من قياس عرض خطوط الطيفية بدقة لا يمكن الوصول اليها في نطاقى الضوء المرئى والأشعة تحت الحمراء .

ومشاهدة منحنيات الخط الطيفي على شاشات أجهزة التحليل الطيفي اللاسلكي تساعد على دراسة أشكال الخطوط دراسة دقيقة ، كما تزودنا ببيانات قيمة عن طبيعة القوى المؤثرة على الجزيئات .

ومن السمات الملحوظة لأجهزة التحليل الطيفي اللاسلكي الحديثة حساسيتها الفائقة . اذ يكفي لتحليل مادة خطوطها الطيفية واقعة في النطاق السنتميتري أن نستخدم ميكروجرام (جزء من مليون من الجرام) واحدا منها .

ويمكن لبعض أجهزة التحليل الطيفية اللاسلكية أن تعمل على موجات تصل الى أعشار المليمتر . ولأجراء الأبحاث باستخدام هذه الأجهزة يكفي جزء من ألف جزء من الميكروجرام من المادة .

وبدراسة شدة الخطوط الطيفية يمكن إيجاد علاقة بين مدى امتصاص الموجات اللاسلكية وكثافة الغاز . وهذا أساس لاستخدام التحليل الطيفي اللاسلكي في التحليل الكمي للمخلوطات المعقدة .

ومن أكبر الميزات لهذه الطريقة ، أنه بتغيير كثافة الغازات لا تتغير شدة المنحنى الطيفي على شاشة جهاز التحليل الطيفي ،اللاسلكى فقط ، بل وشكله أيضا في نفس الوقت . ونتيجة لهذا يمكن اكتشاف التغيرات في أى غاز مركب يحتوى على أنواع مختلفة من الجزيئات في الحال ، الأمر الذى له أهمية كبرى في عدد من العمليات الانتاجية الكيميائية . وفي المستقبل سيساعد التحليل الطيفي اللاسلكى على أن تصبح العمليات الانتاجية المعقدة أوتوماتيكية مثل عمليات تكرير البترول الخام أو اصطناع الأمونيا أو المركبات العضوية المعقدة .

الغوص في أعماق الجزيء

وجد العلماء أن « جواز سفر » الجزيء (وهو طيفه في نطاق الترددات فوق العالية جدا) لا يساعد على تحديد نوع جزيء المادة تحت الاختبار وحالاتها فحسب ، بل يمكنه أيضا أن يعطى أولئك الذين يعرفون مفتاح السر الكثير عن التركيب انداخلى للجزيء .

فمثلا ، اذا وجد باحث خطأ طيفيا في النطاق السنتمترى تردده ٢١٤١٣٩ ميجاسيكل فى الثانية ، يمكنه ان يؤكد ان جهاز التحليل الطيفي الذى يعمل به يحتوى على جزيئات من البروم الفلورى المحتوى على نظير البروم الذى وزنه الذرى ٧٩ ، واذا وجد خطأ طيفيا تردده ٢١٣١١٤ ميجاسيكل فى الثانية ، يمكنه أن يثق فى أنه ناتج عن جزيئات فلوريد البروم التى تختلف عن الأولى فى أنها تحتوى على نظير ثقيل للبروم وزنه الذرى ٨١ . ومن هذا ترى أن أبسط الأبحاث الطيفية اللاسلكية يمكنها ان تميز النظائر ذات الخواص المتشابهة ، الأمر الذى يعتبر مستحيلا بالتحليل الكيميائى وصعبا للغاية بالطرق الأخرى للتحليل الفيزيائى .

ويمكن للتحليل الطيفي اللاسلكى أن يحدد ترتيب الذرات داخل الجزيء بدقة لا يمكن الوصول إليها بالطرق الأخرى ، أى معرفة المسافات بين الذرات والزوايا بين الخطوط الوهمية التى تصل بينها .

وبالطبع يتطلب هذا الأمر أكثر من مجرد خط طيفي كما في حالة التعرف البسيط على الجزيء ، وكلما كان الجزيء أكثر تعقيدا زاد عدد الخطوط الطيفية التى يجب اكتشافها وقياس تردداتها .

وتقتصر دراسة تركيب أبسط جزئ متكون من ذرتين على تحديد المسافة بين الذرتين ، ويكفى لهذا الغرض العثور على خطين متجاورين من خطوط طيف الجزئ وقياس ترددهما بالاستعانة بجهاز التحليل الطيفي اللاسلكي . وعندما يتم هذا ، يحسب الفرق بين الترددين ثم تحسب المسافة المطلوبة من معادلة بسيطة .

وبالطبع يتطلب الجزئ الأكثر تعقيدا دراسة أكثر تفصيلا « لجواز مروره » اللاسلكي ، اذ غالبا ما يقتضى الأمر قياس شدة الخط ، أى درجة « تصوعه » اللاسلكي بالإضافة الى تردده .

وتعتبر دراسة تركيب الجزئيات المعقدة متعددة الذرات دراسة ذات أهمية خاصة . ففي هذه الحالة لا يستطيع التحليل الطيفي اللاسلكي تحديد ترتيب الذرات المكونة للجزئ فحسب ، بل يمكنه أيضا بيان أماكن النظائر المختلفة اذا كان الجزئ يحتوى على أكثر من نظير واحد لعنصر معين . وحتى الآن لا توجد طريقة أخرى لحل هذه المشكلة .

ويمكن للتحليل الطيفي اللاسلكي أن يتعمق أكثر من ذلك في الجزئ . ويؤدى الى بيانات حتى عن خواص نوى الذرات المكونة للجزئ . اذ وجد أنه اذا ولدت نواة ذرية مجالا مغناطيسيا أو اذا اختلف توزيع الشحنة الكهربائية للنواة عن توزيعه لكرة مشحونة اختلافا ملحوظا ، فإن طيف الجزئ المحتوى على هذه النواة يصبح أكثر تعقيدا . وبدراسة مثل هذه الأطياف المعقدة ، يمكن قياس قيمة المجال المغناطيسى للنواة وتحديد كيفية توزيع الشحنة الكهربائية فى الفراغ .

وهذه البيانات ضرورية لألنظرية تركيب النوى الذرية فقط ، بل أيضا لنظرية التكافؤ الكيميائى التى تعالج القوى التى تربط الذرات بالجزئيات .

وقد سجل التحليل الطيفي اللاسلكي نجاحا ملحوظا فى عدة نواح أخرى ، فالبينات التى أمكن الحصول عليها عن طريقه أجبرت العلماء على اعادة النظر فى أسس ميدان جديد من ميادين العلم ، وهو الديناميكا الكهربائية الكمية التى تبحث فى تبادل الفعل بين الموجات المغناطيسية الكهربائية والمادة . وقد بدأت القصة عندما أظهرت الأبحاث التحليلية اللاسلكية الدقيقة لطيف الايدروجين اختلافا عن القيم النظرية . وبالإضافة الى ذلك ، أظهرت الملاحظات الطيفية اللاسلكية أن قيمة العزم المغناطيسى للإلكترون تختلف عن تلك التى تحددها النظرية التى كانت موجودة فى تلك الأيام . ولتفسير هاتين الحقيقتين ، كان لزاما التخلي عن

النظرية القديمة ، التي كانت مبنية على افتراض انه يمكن وجود فراغ خال تماما من كل شيء فى الطبيعة . اذ وجد ان أكثر الفراغات « فراغا » ، وهو ذلك الذى لا يحتوى على أية دقائق أولية (مثل الالكترونات والبروتونات ٠٠٠ الخ) يحتوى دائما على طاقة مغناطيسية كهربائية على هيئة ما يسمى بذبذبات الصفر . وقد كان اكتشاف تبادل الفعل بين الدقائق الأولية وذبذبات الصفر لمجال ما ذا أهمية عظمى للفيزياء والفلسفة . فان أهم ما فى المادة ليس بالطبع تأكيدها للفرض النظرى الذى افترضه علماء العصور الوسطى من أن « الطبيعة تفيض الفراغ » ، ولكن المهم هو أن إحدى التجارب الحاسمة اثبتت اتصالا عميقا بين ان فراغ والمادة ، واثبتت انه لا يمكن وجود فراغ خال من كل أثر للمادة ، وأن هناك دائما مجالا مغناطيسيا كهربائيا (وهو أحد أشكال المادة المنظورة) موجودا فى الفراغ وفعالا ، وهذا هو المهم فى الأمر .

وقد ساعد التحليل الطيفى اللاسلكى أيضا أحد العلوم الشابة الأخرى ، وهو الفلك اللاسلكى .

فقد ثبت نظريا أن ذرات الأيدروجين يجب أن تشع خطا طيفيا طول موجته ٢١ سنتيمترا . ولكن شدة هذا الخط - طبقا للحسابات - من الضعف بحيث لا يوجد أى أمل فى اكتشافه فى الظروف المعملية لأن هذا يتطلب معدات معقدة للغاية . ومن ناحية أخرى ، كان الفلكيون قد توصلوا منذ زمن طويل الى نظرية تقول بوجود الأيدروجين فى الفراغ بين الكواكب ، وطبقا لهذه النظرية ، تخرق ذرات الأيدروجين « المتبخرة » من سطح النجوم المتوهجة الفراغ الخارجى ، وكثافة هذا الغاز الكونى صغيرة جدا بالطبع ، اذ يحتوى السنتيمتر المكعب فى المتوسط على ذرة واحدة من الأيدروجين . وفى هذه الظروف ، تصطلم ذرات الأيدروجين . بعدل لا يزيد على عدة مرات كل قرن . وقد اظهرت الحسابات أنه فى هذه الظروف تشع كل ذرة أيدروجين موجة لاسلكية طولها ٢١ سنتيمترا مرة كل عشرة ملايين من السنين . ولكن ابعاد الكون من الضخامة وذرات الأيدروجين فيه من الكثرة بحيث تمكن محاولة اكتشاف هذا الاشعاع بالاستعانة بتليسكوب لاسلكى . وقد تم اكتشاف الاشعاع على الموجة ٢١ سنتيمترا بالفعل باستخدام تليسكوبات لاسلكية خاصة موائفة على هذه الموجة .

وقد كان ذلك عملا عظيما . اذ تأكد بالتجربة وجود الأيدروجين « الكونى » وكان هذا مستحيلا بدون استخدام التكنيك اللاسلكى ، اذ لا يمكن اكتشاف الأيدروجين الكونى باستخدام التليسكوبات البصرية

المعتادة ، فان درجة حرارته ١٠٠ درجة مئوية فقط فوق الصفر المطلق .
ولهذا لا يشع أى ضوء مرئى .

وبالاستعانة بالتليسكوبات اللاسلكية لم يمكن اكتشاف وجود
الايدروجين الكونى فحسب ، بل أمكن أيضا قياس درجة حرارته وكثافته
وسرعته فى مختلف مناطق الفراغ . ويمكن قياس سرعته ، لأن طول
موجة الخط الطيفى الذى يشعه ذك الايدروجين الكونى يتغير اذا تحركت
سحابة الايدروجين ككل ، وهذا بسبب تأثير دوبلر الذى تحدثنا عنه
فى الفصل الخاص بالرادار . وتعتمد درجة حرارة الايدروجين الكونى على
الحركة العشوائية التى تتحركها ذراته ، وهذا يعنى أن زيادة درجة
الحرارة تصاحبها زيادة عرض الخطوط الطيفية .

كذلك شوهد خط لاسلكى مزدوج للايدروجين فى اجزاء معينة
من السماء ، حدث ذلك عندما كان التليسكوب اللاسلكى متجهًا بحيث
ينظر الى ذراعى مجرتنا - التى تشبه فى شكلها السديم الحلزونى المعتاد -
فى وقت واحد .

ومن هذا الخط المزدوج أمكن حساب سرعة دوران المجرة ، لأن تغير
التردد بفعل ظاهرة دوبلر والناتج عن الدوران يكون أكبر بالنسبة
للذراع الخارجى عنه بالنسبة للداخلى .

ودراسة الخط الطيفى للايدروجين الكونى ذات أهمية عظمى
للدراستات الكونية (تركيب ونشأة الكون) ، لأن الايدروجين هو المادة
الأساسية فى دورة المادة .

والمشكلة الكبرى الآن هى العثور على خطوط طيفية أخرى فى اشعاع
المصادر الفلكية . فمثلا هناك الكثير من الأسباب التى تدفعنا الى توقع
اكتشاف الخط الطيفى للأمونيا وطول موجته ١.٢٥ سنتيمترا فى أجواء
الكواكب الكبيرة مثل المشتري وزحل وكواكب أخرى ، والخطوط الطيفية
لبخار الماء فى جو الزهرة .

الامتار والثوانى فى الجزئيات

تختبر جميع وسائل قياس الطول دوريا بمقارنتها بمقاييس امامية
ثانوية - وهذه بدورها تختبر بمقارنتها بالطول الامامى القومى الذى
غالبا ما يكون المتر الامامى المحفوظ فى خزائن الدولة . والمتر الامامى
الدولى هو الوحدة الأساسية للطول ، وقد تم الاتفاق بين الدول على أن
يحفظ فى فرنسا .

يحقق هذا النظام جميع الأغراض العملية ، ولكن الأبحاث العلمية تتطلب أحيانا دقة أكبر مما يمكن الحصول عليها عندما يكون هناك عدد من العمليات بين القياس الفعلي والقياس الامامي .

ومشكلة قياس الزمن أكثر تعقيدا ، لانه لا توجد ثانية امامية متفق عليها اتفاقا عاما في أى معمل في العالم ، ولا توجد سوى امامات ثانوية مساعدة تسمح بقياس الثانية بدقة تصل الى جزء من مائة مليون جزء من الثانية .

ويمكن الحصول على القيمة الحقيقية للثانية بالحساب من المشاهدات الفلكية فقط ، وذلك بقياس طول اليوم أو - للحصول على دقة أكبر - بقياس الزمن الذي تستغرقه الأرض في الدوران حول الشمس .

وبالاتفاق الدولي ، تعتبر الثانية جزءا من ٩٧٥ ٩٢٥ ٥٥٦ ٣١ جزء من زمن دوران الأرض حول الشمس ، وبالطبع لا يمكن استخدام مثل هذه الوحدة في الحياة اليومية أو في الهندسة أو العلم .

وتساعد اشارات ضبط الوقت التي ترسل باللاسلكي من المراصد الفلكية على تحديد فترات من الزمن كل منها مقدارها ثانية واحدة ، بدقة تصل الى جزء من عشرة ملايين من الجزء من الثانية . وهذه الدقة عالية بالدرجة المطلوبة لمعظم الحالات بالطبع ، ولكنها ليست هكذا دائما .

وهنا يهيب التحليل الطيفي اللاسلكي لنجدتنا مرة أخرى ، وهو في هذه الحالة لا يزيد من دقة تحديد وحدة الزمن فحسب ، بل أيضا يمكن من ذلك بدون الحاجة الى مراقبات فلكية معقدة وطويلة .

ومن الامور الهامة الجديرة بالذكر هنا ، أن التحليل الطيفي اللاسلكي يفتح الطريق لتوحيد امامي الزمن والطول في نفس الوقت .

ولقد أصبح ذلك ممكنا بعد ان ابتكر ن.ج. بازوف و.م. بروخوروف من معهد الفيزياء التابع لأكاديمية العلوم بالاتحاد السوفيتي ، و.س.ه. تاويز من جامعة كولومبيا ، و.ج. ديبير من جامعة ماريلاند بالولايات المتحدة (كل مجموعة على حدة) جهازا هاما : المولد الذري (المعروف بالميسر في الولايات المتحدة) . ويختلف هذا الجهاز عن باقي أنواع أجهزة التحليل الطيفي اللاسلكي في أن الجزئيات فيه لا تمتص الموجات اللاسلكية بل تشعها . ونتيجة للظروف التي تتوفر في هذا النوع من الأجهزة تشع جزئيات الامونيا التي تتحرك في حزمة رفيعة داخل فجوة رنينية معدنية موجات طولها حوالي ١٢٦ سم سنتيمترا في الفجوة . وطول هذه الموجة - وبالتالي فترة الذبذبات المغناطيسية الكهربائية المناظرة - ثابت الى درجة كبيرة جدا .

ومن الخصائص الهامة للدقائق الأولية للمادة ، بما فيها الذرات والجزيئات ، ان طاقتها الداخلية لها قيم محددة لا تحتوى على غيرها .
وفى الظروف العادية ، تكون الغازات فى حالة توازن ديناميكى حرارى .
وهذا يعنى ان جزيئات الغاز موزعة بطريقة محددة فى جميع مستويات الطاقة ، فيشغل أكبر عدد من الجزيئات أقل مستوى للطاقة ، ويقل العدد بارتفاع المستوى .

وهذا هو السبب فى قابلية الغازات لامتصاص الطاقة المغناطيسية الكهربائية ، وبالمثل لا يمتص أى غاز جميع الموجات المغناطيسية الكهربائية ، ولكن يمتص الجزيء عندما ينتقل من مستوى طاقة معين الى مستوى آخر أو يشع جزءا محددا من الطاقة يعتمد على التردد المحدد للموجة المغناطيسية الممتصة أو المشعة . فاذا وجد مثل هذا التناظر بين طاقة الانتقال وتردد الموجة ، دل هذا على ان الغاز قد تفاعل مع الموجة المغناطيسية الكهربائية بشدة .

وجدير بالذكر هنا ، أنه عند مرور مثل هذه الموجة الرنينية فى الغاز ، يتساوى احتمال انتقال أى جزيء من مستوى الطاقة المنخفضة الى آخر أعلى مع امتصاص طاقة من مجال الموجة أو انتقاله من مستوى أعلى الى آخر أكثر انخفاضاً مع إعطاء الطاقة الزائدة الى المجال . ولكن نظرا لان غالبية الجزيئات تكون - فى حالة التوازن الديناميكى الحرارى - فى أقل مستوى للطاقة ، يكون مجموع الجزيئات التى تنتقل الى أعلى (مع امتصاص الطاقة) أكبر من عدد الجزيئات التى تنتقل الى أسفل (مع اشعاع الطاقة) . وهكذا بالرغم من تساوى احتمال كل من الامتصاص والاشعاع أثناء كل تفاعل ، فان الغاز يمتص الطاقة لأن عدد عمليات الامتصاص الأولية يزيد فى الظروف العادية على عدد عمليات الاشعاع .

فاذا أردنا ان نجعل الجزيئات تعطي الطاقة للموجة المغناطيسية الكهربائية ، أى اذا أردنا أن تكبر هذه الموجة ، يجب أن نجعل عدد عمليات الاشعاع أكبر من عدد عمليات الامتصاص ، وهذا مستحيل كما رأينا اذا كان الغاز فى حالة توازن ديناميكى حرارى .

من ذلك يتضح أنه اذا أردنا ان نجعل الجزيئات تكبر الموجة المغناطيسية الكهربائية ، فمن الضروري ان نزيل التوازن الديناميكى الحرارى حتى نحصل على عدد من الجزيئات فى مستوى الطاقة الأعلى أكبر مما فى المستوى الأقل .

وقد قدم هذا الاقتراح أولا ف. ١٠ فابريكانت فى رسالة الدكتوراه التى قدمها سنة ١٩٣٩ والتى نشرت بعد ذلك بعام . ولكن لم تكن الوسائل

الفنية لتحقيق هذه الفكرة متوفرة في ذلك الوقت فاهملت لزمن طويل .
أما الآن فقد توفرت الامكانيات لتحويل المادة من حالة الاتزان الى حالة
نشطة ، حيث يؤدي الانتقال الكمي الى تكبير الموجات اللاسلكية بل
توليدها .

ويمكن القيام بذلك بعدة طرق . فمثلا يمكننا ان نستغل اختلاف
شدة تفاعل الجزيئات ذات مستويات الطاقة المختلفة مع المجالات الكهربائية
والمغناطيسية .

وهذه هي الطريقة المتبعة في المولدات والمكبرات الذرية التي تستعمل
جزيئات الامونيا . فتنفذ جزيئات الامونيا من عدد من الثقوب الرفيعة
الى وعاء مفرغ من الهواء بواسطة مضخة خاصة . ويسير شعاع جزيئات
الامونيا بدون أية مقاومة من الهواء بين الواح مكثف يتكون من أربعة
الواح ذات اشكال خاصة . وتتصل الالواح على التوالي بالطرف الموجب
والسالبة لمقوم جهد عال يشحنها بجهد يصل الى أربعين ألف فلت .

وفي مرور شعاع جزيئات الامونيا بطول محور المكثف ، يجمع
مجال المكثف الجزيئات ذات الطاقة الأعلى في محوره ويطرد الجزيئات ذات
الطاقة لأقل . وبهذا الفصل للجزيئات أثناء مرورها بطول محور
المكثف ، يمكن الحصول على أمونيا في حالة غير مستقرة . ويمكن بعد ذلك
الاحتفاظ بالغاز في هذه الحالة لمدة طويلة ، ولكن هذا ليس ضروريا .
وتوجد فجوة رنينية موائفة على تردد يناظر تردد انتقال جزيئات
الامونيا من مستوى أعلى الى مستوى أسفل بعد الواح المكثف وعلى
الامتداد محوره .

فاذا سلطت موجة لاسلكية على الفجوة بحيث يناظر ترددها تردد
رنين الفجوة ، تتفاعل الجزيئات معها بحيث تعطى طاقتها وتكبرها ، ويزيد
هذا التكبير كلما زاد عدد الجزيئات النشطة (ذات الطاقة العالية) التي
تدخل الى الفجوة . وفي هذه الحالة يعمل ذلك الجهاز كمكبر ذري .

وبخلاف جميع أنواع المكبرات الأخرى (المكبرات التي تستخدم
الصمامات أو الترانزستورات أو المكبرات المغناطيسية) ، يمتاز المكبر
الذري بانخفاض ضووائه الداخلية انخفاضاً كبيراً وبانتقائية عالية .

وبزيادة عدد الجزيئات الفعالة الداخلة الى الفجوة تدريجياً ، يمكن
الوصول الى حالة تزيد فيها الطاقة التي تعطىها الجزيئات للفجوة على الفقد
في الطاقة في جذرائها والاشعاع المرتد خلال الثقوب الموجودة في هذه
الجدران . وفي هذه الحالة تبدأ الاثارة الذاتية للمكبر الجزيئي ويصبح

مولدا جزئيا كما فى حالة المكبر ذى الصنام ، فتنشأ فيه ذبذبات وتستمر بدون أية اشارة خارجية .

ونظرا لأن طاقة التدبذب تتحدد من العمليات التى تتم بين الجزئيات والتى لا تتأثر بمضى الزمن ، كما ان تأثير العوامل الخارجية عليها ضئيل ، فانه يمكن الحصول على استقرار عال جدا للتردد . اذ لا يزيد الفرق بين زمن الذبذبة لى مولدين جزئيين - وبالتالي طولى الموجتين المتشتتين - عن جزء من عشرة ملايين ، وبالإضافة الى ذلك فلقد أصبحت الطرق التى تمكن من زيادة دقة المولدات الجزئية معروفة .

وعلى هذا ، فاذا اعتبرنا أن زمن ذبذبة مولد جزئى هو امام للزمن وطول موجته امام للطول ، نحصل على امام للزمن والطول وذلك بعملية واحدة وهى الحصول على الاشعاع الصادر عن الجزئيات من مولد جزئى . ولعل هذه المشكلة أهمية عظمى ولا شك فى انها ستكون عظيمة الفائدة لعلم القياسات أو المترولوجى .

ويمكن حل عدد من المشاكل الهامة بالاستعانة بالمولد الجزئى .
فمثلا يمكن القاء الضوء على عدم انتظام دوران الأرض .

ففى البندلية حدد العلماء الثانية على أساس دوران الأرض حول محورها . وبعد أن وجد أن طول اليوم يتغير بدرجة كبيرة ، تقرر قياس الزمن على أساس الدوران السنوى للأرض حول الشمس كما ذكر من قبل ، وبمقارنة المشاهدات الفلكية بزمن ذبذبة مولد جزئى ، امكن دراسة طبيعة التغيرات فى سرعة دوران الأرض بدقة لاكتشاف سببها .

ويبحث العلماء الآن امكان القيام بتجربة هامة ، لم يكن اجراؤها ممكنا قبل تصميم المولد الجزئى .

تؤدى نظرية قوى الجاذبية التى وضعها اينشتاين الى نتيجة مؤداها ان معدل سريان الزمن ليس قيمة مطلقة . ونتيجة لهذا فان فترة دوام جميع العمليات الدورية التى يمكن استخدامها لقياس الزمن تعتمد على قيمة قوة الجاذبية .

ان الزمن يمر بالقرب من الكتل الكبيرة من المادة أبطا منه بعيدا عنها . ولقد اختبرت هذه النتيجة النظرية بالملاحظة الفلكية لطيف أحد توابع النجم اللامع المسمى بالكلب الأكبر . ولم تكن تلاحظ هذه الظاهرة على الأرض حتى الآن نظرا لأن الاختلاف المتوقع صغير جدا ، اذ طبقا للنظرية ، تختلف سرعة ساعة موضوعة على أعلى الجبال عن واحدة مثلها

تماما فى أعمق منجم بمقدار جزء من مليون المليون فقط . ولا تستطيع
أية ساعة من الساعات المعروفة حتى الآن - بما فيها ساعات بللورات
الكوارتز المعقدة - ان تشعر بمثل هذا الفرق الصغير .

ولكن باستخدام مولدين جزيئين ، يتوقع العلماء امكان اجراء مثل
هذه التجربة فى المستقبل القريب .

ولا شك فى أن المولدات الجزيئية ستجد استخداما واسع النطاق ،
لا فى مجال الأبحاث فحسب ، بل فى الهندسة اللاسلكية أيضا : فى
الملاحة اللاسلكية والتحكم من بعيد والاتصالات .

وفى الختام يجب ملاحظة ان التحليل الطيفى اللاسلكى ليس ميدانا
معزولا عن ميادين العلم الأخرى ، اذ نشأ من تزاوج عدة علوم : الهندسة
اللاسلكية والفيزياء ، أو الهندسة اللاسلكية والكيمياء ، وتقنياته على
درجة مساوية من الأهمية فى دراسة المشاكل المختلفة فى الفيزياء
والكيمياء والالكترونيات وحتى الفلك .

ومن الطريف ملاحظة ان التحليل الطيفى اللاسلكى الذى نشأ على
أساس من معدات الرادار ، يمهّد الآن الطريق أمام الرادار . اذ تجرى
الآن أبحاث على التحليل الطيفى اللاسلكى على موجة طولها ٣.٠ مم ، أى
فى نطاق من الترددات لم يتقنه الرادار حتى الآن . وتعطى مثل هذه
الموجات التصوير أساسا أملا فى الحصول على رؤية مباشرة بالموجات
اللاسلكية ، كما أمكن الحصول على أنابيب الرؤية الليلية التى تعمل
بالاشعة تحت الحمراء .

وبالإضافة إلى التحليل الطيفى اللاسلكى للغاز ، يجرى الآن تطوير
نوع آخر هام من فروع التحليل الطيفى اللاسلكى ، وسيؤدى هذا
النوع - بالاستعانة بالموجات اللاسلكية - إلى معلومات هامة عن تركيب
الجوامد والسوائل ، وكذلك بيانات جديدة هامة عن خواص النوى الذرية .

ويستمد هذا الفرع من فروع التحليل الطيفى اللاسلكى على ظاهرة
الرنين البارامغناطيسى التى اكتشفها ي.ك. زيفرسيكى فى سنة ١٩٤٤ .
وقد منح هذا العالم الذى كان وقتها عضوا مراسلا فى أكاديمية العلوم
بالاتحاد السوفيتى جائزة لينين سنة ١٩٥٧ لاكتشاف ظاهرة الرنين البارامغناطيسى
ولابحائه المثمرة التى قام بها بعد ذلك فى هذا المجال .

ويحدث الرنين البارامغناطيسى كنتيجة لانتقال المواد البارامغناطيسية (متوازية المغناطيسية) بين مستويات الطاقة عندما توضع
فى مجال مغناطيسى .

وتختلف الذرات والأيونات البارا مغناطيسية عن غيرها في ان العزم المغناطيسى لواحد من الالكتروناتها أو أكثر لا يعادله العزم المغناطيسى للالكترونات الأخرى ، بعكس الذرات الديامغناطيسية التى تعادل فيها العزوم المغناطيسية للالكترونات بعضها البعض . ولهذا السبب تكون الذرات الديامغناطيسية متعادلة مغناطيسيا في حالة عدم وجود مجال مغناطيسى خارجى ، بينما تتصرف الذرات والأيونات البارا مغناطيسية كما لو كانت مغناطيسات صغيرة حتى في حالة عدم وجود مجال مغناطيسى خارجى . وهذا نتيجة لوجود عزوم مغناطيسية الكترونية غير متعادلة فيها .

فاذا دخلت ذرة أو أيون بارامغناطيسى في مجال مغناطيسى خارجى ، تنشق مستويات الطاقة فيه ، ويصبح الانتقال بين مستويات الطاقة هذه بفعل الموجات المغناطيسية الكهربائية ممكنا .

وتقع ترددات الرنين المناظرة لهذه الانتقالات بالنسبة لمعظم المواد في النطاق اللاسلكى حتى الموجات السنتيمترية ، وتغير ترددات الرنين بتغير المجال المغناطيسى الخارجى .

ولا تمكن ظاهرة الرنين البارا مغناطيسى من القيام بالابحاث القيمة التى ذكرناها من قبل فحسب ، بل تسمح أيضا بتصميم نوع آخر من المكبرات والمولدات الجزيئية .

وعموما لا يمكن فصل الجزيئات الموجودة في مستوى الطاقة الأعلى في البلورات البارا مغناطيسية عن تلك الموجودة في المستوى المنخفض . ولتنشيط مثل هذه البلورات - حتى يمكنها تكبير الموجات اللاسلكية - تستخدم طريقة اقترحها ن.ج. بازوف و.م. بروخوروف .

ويتطلب تحقيق هذه الطريقة انتقاء ثلاثة مستويات مرتبة ترتيبا محددا ضمن مستويات الطاقة المتعددة التى تكون عليها الأيونات البارا مغناطيسية في بللورة معينة . وباختصار ، لنفترض ان المستوى الثالث أعلى من المستويين الآخرين ، أى أنه يناظر طاقة أعلى ، وبما أن البللورة تكون في البداية في حالة اتزان ديناميكى حرارى ، فإن طاقة الغالبية العظمى من الالكترونات ، تكون مناظرة لأكثر المستويات انخفاضا ، وتناظر طاقة عدد أقل من الالكترونات المستوى الأوسط ، ولا يشغل المستوى الأعلى الا عدد قليل من الالكترونات التى تناظر طاقتها هذا المستوى .

ولهذا ، عندما تتفاعل مثل هذه البلورة مع موجة مغناطيسية كهربائية ، تمتص طاقة الموجات التي تناظر طاقتها طاقة الانتقال بين المستويين المنخفضين ، فإذا كان المطلوب اشعاعا لا امتصاصا ، تكفى إزالة عدد كاف من الالكترونات من المستوى المنخفض ، بحيث يصبح العدد الباقي أقل من عدد الالكترونات فى المستوى المتوسط .

ويمكن أن يتم هذا بتعريض البلورة لموجة تناظر طاقة الكم فيها . فرق الطاقة بين المستوى المنخفض والعالى . فإذا كانت الموجة قوية بالدرجة الكافية ، فإنها ترفع عدد الالكترونات الموجود فى المستوى الأعلى وتخفيض عددها فى المستوى المنخفض . فإذا كان انتقاء المستويات صحيحا ، يمكن أن يصل النقص فى عدد الالكترونات الى الحد الذى يصبح فيه عددها فى المستوى المنخفض أقل منه فى المستوى المتوسط . الأمر الذى يعتبر كافيا جدا لتكبير الموجات اللاسلكية . وقد تم تصميم مكبرات بارامغناطيسية من هذا النوع فى عدد من المعامل فى الاتحاد السوفيتى والولايات المتحدة .

وحتى يصبح الفرق بين « سكان » المستويين المرتفع والمنخفض فى حالة الاتزان الديناميكي احرارى كبيرا بالدرجة الكافية (وهذا ضرورى حتى يمكن للموجة المساعدة أن « تخفض عدد سكان » المستوى المنخفض بالدرجة الكافية) ، يجب حفظ البلورة البارامغناطيسية فى درجة حرارة منخفضة جدا ، كذلك يلزم وجود البلورة فى هذه الدرجة المنخفضة من الحرارة للاقلال من الحركة الحرارية داخلها الى الدرجة التى تجعلها لا تتداخل مع عمل المكبر .

وتعمل المكبرات البارامغناطيسية التى نفذت حتى الآن فى درجة حرارة الهليوم السائل ، وهى أقل من ٢° كلفن (مطلقة) . وهناك نوع من هذه المكبرات لا يعمل الا فى درجة حرارة ٢٥° كلفن ، وهذا هو السبب فى أن الضوضاء الداخلية للمكبرات الجزيئية التى صممت على هذا الأساس أقل من تلك المكبرات الجزيئية التى تستخدم شعاعا جزيئيا من الامونيا . ومن المميزات الأخرى للمكبرات البارامغناطيسية أنها سهلة الموائمة فى نطاق واسع من الترددات بتغيير المجال المغناطيسى . تغييرا بسيطا .

ويمكن صنع مكبر بارامغناطيسى بدون استخدام اشعاع مساعد على أساس استخدام مستويى طاقة فقط ، وتصل كفاءة مثل هذه المكبرات الى أقصاها فى مدى الموجات اللاسلكية المليمترية او حتى الأقصر .

وهناك عدد من الطرق التى يمكن بها صنع مكبرات تحتاج الى التعرض مبدئيا لموجات لاسلكية للاتارة ، ولكن للطرق التى لا تحتاج لذلك جاذبية خاصة ، وفى حالة الموجات القصيرة جدا لا يكون هناك غنى عن هذه الطرق ، لأن الحصول على موجات لاسلكية قوية بالدرجة الكافية فى هذا النطاق صعب ان لم يكن مستحيلا تماما فى الوقت الحاضر .

ولنتصور أن بللورة بارامغناطيسية قد وضعت فى مجال مغناطيسى ثابت لمدة كافية من الوقت ، ففي حالة الاتزان الديناميى الحرارى تضبط غالبية المغناطيسات الأولية الدقيقة اتجاهها على اتجاه المجال لأنه يمثل بالنسبة لها وضع الطاقة الصغرى . وهذا يعنى أنه فى هذه الحالة تمتص المغناطيسات الأولية عند تفاعلها مع موجة مغناطيسية كهربائية ذات تردد مناسب - عموما - جزءا من طاقة الموجة وتدور عبر المجال ، أى تنتقل الى مستوى طاقة أعلى .

وتتغير الصورة اذا عكس اتجاه المجال المغناطيسى الثابت فجأة قبل تسليط الموجة المغناطيسية الكهربية ، وفى الحقيقة ، اذا عكس اتجاه المجال المغناطيسى بسرعة كافية ، لا تستطيع هذه المغناطيسات الأولية أن تتبع حركته وتظل فى اتجاهها الأول ، ويعنى هذا أنها تصبح فى اتجاه مضاد لاتجاه المجال وليس فى نفس اتجاهها كما كانت .

وعندما تتفاعل هذه المغناطيسات مع موجة مغناطيسية كهربائية بنفس التردد ، كما سبق ، تنتقل معظم المغناطيسات الأولية التى كانت فى عكس اتجاه المجال من وضع الطاقة الأعلى الى وضع الطاقة الأدنى وتعطى طاقتها للموجة ، وهذا يعنى تكبير الموجة . وقد قام العالمان الأمريكان بورسيل وباوند بتجربة من هذا النوع فى سنة ١٩٥٠ .

وبالطبع عندما يصبح عدد المغناطيسات الأولية المتجهة فى اتجاه المجال المغناطيسى مساويا لتلك المضادة له يتوقف التكبير ، الأمر الذى يعنى ضرورة ايجاد طريقة لاستعادة حالة الاشعاع . ولا شك فى أن هذه المشكلة الفنية ستحل فى القريب العاجل ، وستمكن هذه الطريقة من صنع مولدات ومكبرات بارامغناطيسية للموجات القصيرة جدا ، وواضح أن العامل الوحيد الذى سيحدد الاستخدام هو قيمة المجال المغناطيسى الذى يمكن الحصول عليه .

ومن المؤكد أن أى تطوير للتحليل الطيفى اللاسلكى ، سيكون له نفع كبير للعلم والهندسة .

الالات الحاسبة الالكترونية

استبدلت القوة العضلية للانسان في كثير من الأعمال المجهدة بالمكنات والآلات منذ زمن بعيد . ولكن لم تحل المكنة محل القدرة العقلية للانسان قبل منتصف هذا القرن الا بوسائل بدائية جدا .

ونحن نعاصر الآن ثورة حقيقية في تطوير وسائل ميكنة الجهود العقل . وضمن هذه الوسائل الآلات الحاسبة الالكترونية ذات السرعة العالية . وقد حتمت المشاكل العلمية والهندسية ذات الطبيعة العاجلة تصميم هذه الآلات .

فمثلا يشتمل رسم الخرائط طبقا للمساحة الجيوديسية على حل مجموعة من المعادلات يصل عددها الى ٨٠٠ معادلة . وتتكون الحسابات من ٢٥٠ ٠٠٠ ٠٠٠ عملية حسابية ، ومثل هذا العدد من العمليات الحسابية اذا قام به عشرة رجال مزودين بمكنات الجمع يستغرق ٤٠ سنة ، وقد قامت الآلة الحاسبة الالكترونية بى سى سى (★) الموجودة فى معهد الميكانيكا الدقيقة وتكنيات الحساب التابع لأكاديمية العلوم السوفيتية بحلها فى عشرين ساعة (شكل ٣٨) .

وقد عمل المهندسون والمصممون طويلا فى تصميم السفن الصاروخية للتنقل بين الكواكب ، فاذا اردنا ان نجعل الصاروخ يهبط على القمر مثلا ولا يمر بجواره الى اجواز الفضاء ، يجب ان نحسب مساره مع اعتبار جميع العوامل التى تؤثر عليه . مثل هذه الحسابات تستغرق عامين من العمل المستمر ليتمكن العلماء من اجتازها ، بينما تحل الآلة الحاسبة الالكترونية هذه المسألة فى ساعاتين .

(★) هذه الحروف اختصار للتعبير « آلة حاسبة إلكترونية ذات سرعة عالية » باللغة الروسية .



(شكل ٣٨) : الآلة الحاسبة الالكترونية ذات السرعة العالية (ب ي س م) التابعة
لأكاديمية العلوم السوفيتية .

ومن المشاكل المعقدة في انشاء الماكينات انتاج الاجزاء ذات الاشكال
التفخيرة . مثل التوربينات والضغوطات وفوهات المكينات النفاثة وكثير من
الاجزاء الدقيقة الاخرى . وقد ادى استخدام الآلات الحاسبة الالكترونية
في حساب اشكال الاجزاء وفي التحكم الآلى في المكنات التى تصنعها الى
نتائج رائعة أيضا . فمثلاً يستغرق العامل الماهر اسبوعين في صناعة
دليل موجى معقد مكون من لوحين معدنيين باحدهما مجار ذات اشكال
معينة وبالأخر الصورة المقلوبة لها ، وبلاستعانة بآلة حاسبة الكترونية ،
تمكن صناعة نفس الدليل الموجى في سبعة ، بما فى ذلك جميع العمليات
التحضيرية . وهاك مثال آخر : يستغرق الحاسب ستة أشهر في حساب
الارتفاع في درجة حرارة كرسى التحميل الدفعى المستخدم في مولد
كهربائى يعمل بالطاقة المائية ، وقد اجريت هذه الحسابات على الآلة
الحاسبة الالكترونية طراز م - ٢ الموجودة في معهد هندسة القدرة التابع
لأكاديمية العلوم بالاتحاد السوفيتى في نصف ساعة .

وتبلغ تكاليف المليون من العمليات الحسابية التى تتم باستخدام
الآلة الحاسبة طراز م - ٢ أربعة روبلات فقط . ويبلغ عدد العمليات
الحسابية التى تتم في الآلة الحاسبة الالكترونية في الثانية الواحدة ما بين
ثمانية آلاف وعشرة آلاف ، بينما يمكن للحاسب المزود بماكينة جمع أن
يؤدى ٢٠٠٠ عملية حسابية في يوم العمل بأكمله . ومن هنا نرى ان

تكاليف تشغيل الآلة الحاسبة الالكترونية لمدة ثانية واحدة حوالى أربعة كوبيكات وتقوم الآلة فى هذه المدة باتمام أربعة امثال ما يمكن ان يقوم به الحاسب فى يوم عمل مدته ٨ ساعات •

وقد أدت المراحل الأولى من استخدام الآلات الحاسبة الالكترونية ذات السرعة العالية الى نتائج مذهلة • فبغض النظر عن ميدان العلم أو الاقتصاد القومى الذى تستخدم فيه كانت دائما تفتح آفاقا وامكانيات جديدة •

الصمامات الالكترونية تعد

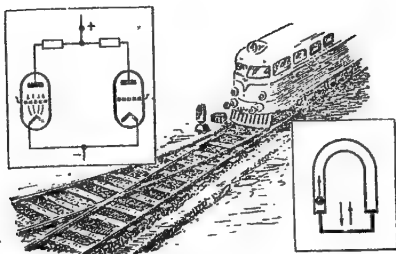
كيف تبدو هذه الآلات الرائعة ولماذا تحسب بهذه السرعة ؟ • تستخدم الآلات الحاسبة الالكترونية - كما يفهم من اسمها - الصمامات الالكترونية أو اشباه الموصلات التى حلت محل الصمامات ولكنها أكثر عولا واقتصادا واصغر حجما •

وتستخدم الصمامات الالكترونية فى اجزاء الآلة الحاسبة الالكترونية المختلفة ، ولكن العنصر الرئيسى فيها هو مجموعة بسيطة مكونة من صمامين وتسمى الدائرة النطاطة • وهذه الدائرة هى العنصر الحسابى الأساسى فى جميع الآلات الحاسبة الرقمية الحديثة عالية السرعة ، أى الجزء من الآلة الحاسبة الذى يقوم بالعد • وكذلك تستخدم الدائرة النطاطة فى أجزاء أخرى من الآلة الحاسبة الالكترونية • لهذا يجب ان نعرف ما هى الدائرة النطاطة وكيف تعمل اذا اردنا ان نفهم كيف تعمل الآلة الحاسبة الالكترونية •

تعتبر الدائرة النطاطة من أكثر الدوائر الالكترونية التى يمكن الاعتماد عليها (شكل ٣٩) • وفى هذه الدائرة ، لا يمكن لاي من الصمامين الا أن يكون فى احدى حالتين ، إما « موصلا » أو « مقطوعا » بحيث يكون احدهما موصلا والآخر مقطوعا •

وتعمل الدائرة كما لو كانت مرحلا الكترونيا أو تحويلة مسكة حديد أوتوماتيكية • فكل هذه الادوات لا يمكن الا أن تكون فى احدى حالتين مستقرتين ، إما فى احد الاتجاهين تماما أو فى الآخر تماما •

والدائرة النطاطة أقدم من الآلة الحاسبة الالكترونية بكثير ، اذ كانت تستعمل منذ زمن طويل كمفتاح كهربائى الكترونى ، كما كانت تستخدم



(شكل ٣٩) : الدائرة النطاطة الصمامية وشبهياتها .

عدة مراحل نطاطة لعد القطع المنتجة في المصانع أوتوماتيكيا ولعد الدقائق الكونية أو عدد الدقائق المتولدة من اضمحلال اشعاعي . وتصلح الدوائر النطاطة للعد لا لأنها تستقر في احدى حالتين متزنتين فحسب ، بل أيضا لأنها يمكنها ان تنتقل من احدهما الى الاخرى في نفس اللحظة تقريبا .
بفعل النبضات الكهربائية .

ولتقريب طريقة عملها الى الأذهان ، نفترض أننا وضعنا كرة من الصلب في أنبوب منحن بحيث يكون طرفاه الى أسفل فنرى أنها لا تكون الا في احدى حالتين مستقرتين : اما في قاع الساق اليمنى للأنبوب أو في قاع الساق اليسرى . اذ بعد ان تنزلق من قمة الأنبوب لأقل رجة ، تستقر على القاع بحيث تظل في هذا الوضع المستقر لمدة لا نهاية لها . فاذا اردنا ان نحرك الكرة من هذا الوضع المستقر . ولنفرض انه في قاع الساق اليمنى الى الوضع المستقر الآخر في قاع الساق اليسرى ، يجب ان نعرضها لدافع ما مثل تحريك أحد الكباسين الموضوعين في الطرفين السفليين من الأنبوب ، فان الكباسين سيقذفان بالكرة من ساق الى الاخرى ، وبهذا تنتقل دائرتنا النطاطة الميكانيكية من احدى حالتها المستقرتين الى الحالة الاخرى . وبهذا لا يكون هذا الجهاز الميكانيكى الا في احدى حالتين مستقرتين اما والكرة في الساق اليسرى أو وهي في الساق اليمنى .

وكذلك يمكن للدائرة النطاطة الالكترونية ان تكون في احدى حالتين مستقرتين ، اما أن يكون التيار في الصمام الأيمن مقطوعا وفي

الايسر موصلا بكامل قوته أو بالعكس . وبعمل نبضة كهربائية تتحول الدائرة الى الحالة المستقرة ،لثانية حيث ينقطع التيار عن الصمام الايسر . ويمر تيار الدائرة الكهربائية بكمله فى الصمام الأيمن .

وبينما يستغرق الانتقال من احدى الحالتين المستقرتين الى الاخرى فى الدائرة النطاطة الميكانيكية (الانبوب المنحنى المقلوب) جزءا من مائة جزء من الثانية على الاقل نظرا لوزن الكرة ، تنتقل الدائرة النطاطة الالكترونية من احدى الحالتين الى الاخرى فى جزء من ألف مليون من الثانية نظرا لعدم وجود خاصية القصور الذاتى فى الصمامات الالكترونية .

فاذا سلطت نبضة كهربائية على دائرة نطاطة ، تنتقل من احدى الحالتين الى الاخرى بحيث تعد نبضة واحدة ، أما اذا لم تسلط أية نبضات فان هذه الدائرة القدسية تظل فى نفس حالتها ، أو بصارة أخرى تسجل صفرا ، ونظرا لأن الدائرة النطاطة لا يمكنها الا أن تكون فى احدى حالتين مستقرتين تناظر « صفرا » أو « ١ » ، فان الآلات الحاسبة الالكترونية تستخدم نظاما ثنائيا فى العد .

وللنظام الثنائى تاريخه الخاص ، فيوما ما كانت الاشياء تعد بالحمسات (ربما لوجود خمسة أصابع فى اليد) . وحتى الآن تعد الأشياء أحيانا بالديسنة ، أما أساس العد فى أيامنا هذه فهو النظام العشرى ، ويقسم هذا النظام الارقام جميعا الى مجموعات عشرية : أحاد وعشرات ومئات وآلاف ٠٠٠ الخ ، ولكن العالم الالمانى ليبنتز اقترح استخدام نظام مكون من رقمين « الصفر » و « ١ » ، وبينما يعتمد النظام العشرى على الرقم ١٠ ويمكن ان تضم كل مجموعة عشرية واحدا من عشرة ارقام من الصفر الى الرقم ٩ ، فان النظام الثنائى يعتمد على الرقم ٢ ، ويحتوى كل عمود على أحد رقمين ، « صفر » أو « ١ » وبحيث تكون قيمة كل عمود ضعف قيمة العمود السابق . ويمثل أى عمود بالاستعمانة برقمين فقط « الصفر » و « ١ » ، فمثلا نجد فى النظام العشرى ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ ، ٥ ، ٦ ، ٧ ، ٨ ، ٩ الخ ، أما فى النظام الثنائى فيقابل هذه الأرقام ما يأتى : ١ ، ١٠ ، ١١ ، ١٠٠ ، ١٠١ ، ١١٠ ، ١١١ ، ١٠٠٠ الخ .

ولننظر كيف يتكون النظام العشرى المعتاد حتى يمكننا ان نفهم هذا الأمر بشكل أوضح . ففى النظام العشرى لا تتوقف قيمة كل رقم فى هذا النظام على شكله فقط وانما على مكانه أيضا ، أى على ما اذا كان الرقم وحيدا أم ان هناك ارقاما أخرى على يمينه ، فمثلا يعبر الرقم « ٧ » عن

العدد ٧ (سبع وحدات) ، اما اذا كان هناك أى رقم آخر على يمينه ؛ فانه يعبر عن سبعين (سبع عشرات) ، واذا كان هناك رقمان على يمينه فانه يعنى سبع مئات ، ولا يهمنا هنا أى الارقام على يمينه ، فمثلا فى كل من العددين ٧١٢ ، ٧٣٥ يعنى الرقم «٧» سبع مئات ، ولهذا يسمى نظامنا العشرى نظاما وضعيا لأن قيمة كل رقم تتوقف على وضعه .

ويعنى الرقم « صفر » أنه لا توجد أية وحدات حيث يوجد الصفر ، فمثلا الرقم ٧١٢ يعنى فى الحقيقة ما يأتى : هناك سبع مئات وعشرة واحدة ووحدتين ، بينما يعنى الرقم ٧٠٢ أنه هناك سبع مئات ولا توجد عشرات بينما هناك وحدتان . وقد اصطلح على عدم كتابة اصفار على يسار الارقام المعنوية ، ولولا هذا لكان لزاما علينا كتابة عدد هائل من الاصفار الى اليسار اذ لا يوجد فى أى من الامثلة السابقة أية آلاف ولا عشرات :آلاف ولا ملايين ... الخ .

ويجب ملاحظة ان كل خانة من خانات النظام العشرى تمثل عشرة اضعاف السابقة ، فعشر وحدات عشرة واحدة وعشر عشرات مائة واحدة وعشر مئات ألف واحدة وهكذا .

ويشكل النظام الثنائى بنفس الطريقة ، ولكن نظرا لانه يعتمد على الرقم ٢ فاننا لا نحتاج الا الى رقمين للعد الوضعى : واحد وصفر .

ولكن تختلف كل خانة فى هذه الحالة عن سابقتها بمقدار الضعف ، ويمكن أن يكون الرقم الذى يشغل الخانة الاولى اما صفرا أو واحدا ، وتعنى الخانة الثانية وحدتين أو الكمية « اثنين » ، وتعنى الخانة الثالثة اثنتى اثنين - أو أربعة - وتعنى الخانة الرابعة أربعين - أو - ثمانية ،

وعلى هذا اذا أردنا ان نعبر عن الرقم ٣ نعبر عن « اثنين » واحدة و « واحد » واحد ونكتب ١١ بالنظام الثنائى ، اما الرقم ٩ فيكتب بالطريقة الآتية : « ثمانية » واحدة . ولا « أربعة » ولا « اثنين » و « واحد » واحد (١٠٠١) بينما يكتب الرقم ١٠ بالنظام الثنائى على أساس انه مكون من « ثمانية » واحدة ، لا « أربعة » و « اثنين » واحدة ولا « آحاد » (١٠١٠) .

وقد اتضح أن هذا النظام كان معروفا بالفعل منذ ٣٤٠٠ سنة ، فلأن الارقام لم تكن قد اخترعت كان الاقدمون يستخدمون شرطة « - » ونقطتين « . » ، وكانت الشرطة تعنى « واحدا » بينما تعبر النقطتان عن بداية ونهاية شرطة غير مكتوبة أو بعبارة أخرى « صفر » .

وهنا نساءل : كيف يمكن عد النبضات المسلسلة على دخل الوحدة

الحسابية في الآلة الحاسبة الالكترونية ؟ • كيف يمكن ان نحدد عدد المرات الذي تحولت فيها الدائرة النطاطة من احدى حالتها المستقرتين الى الأخرى ؟ ، بالطبع لايمكن ان نعرف بمجرد النظر الى دائرة نطاطة كم نبضة سلطت عليها أو كم مرة انتقلت من احدى حالتها الى الأخرى ؟ لا يمكن بمجرد النظر أن نحدد الا أن عدد الانتقالات كان فرديا أو زوجيا ، فإذا كانت الدائرة قد عادت الى حالتها الأصلية كن عدد النبضات زوجيا ، لأن كل ثاني نبضة تعيد الدائرة الى حالتها الأصلية •

يمكن ان نعد عدد النبضات بالاستعانة بمجموعة نطاطة تسمى دائرة العد •

وتستطيع المرحلة الواحدة من الدائرة النطاطة ان تعد الى اثنين : إذ تنقلها النبضة الأولى الى حالتها المستقرة الثانية بينما تعيدها النبضة الثانية الى حالتها الأولى ، ولكن يمكننا أن نجعل عودة هذه المرحلة النطاطة الى حالتها الأولى تغذى نبضة الى مرحلة نطاطة أخرى • وهذا يعنى ان المرحلة الثانية تعد « ١ » عندما تعد الأولى « ٢ » وتعود الى حالتها الأولى ، وبهذا تسجل المرحلة الثانية ان الأولى قد عدت نبضتين •

وعندما تعد الدائرة النطاطة الأولى نبضتين آخرين تشغل الدائرة النطاطة الثانية فتعود الى حالتها الأولى مسجلة بهذا ان الدائرة النطاطة الأولى قد عدت « اثنين » مرتين •

ومن الواضح الآن اننا اذا أردنا استمرار العد نحتاج الى مرحلة نطاطة ثالثة تتصل بالثانية تماما كما تتصل الثانية بالأولى ، وبهذه الطريقة تتكون دائرة العد •

ويمكن ايضاح كيفية عمل دائرة العد ذات المراحل الثلاثة باستعانة بالجدول التالي :

عدد النبضات	صفر	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨
وضع المرحلة الأولى	صفر	١	صفر	١	صفر	١	صفر	١	صفر
وضع المرحلة الثانية	صفر	صفر	١	١	صفر	صفر	١	١	صفر
وضع المرحلة الثالثة	صفر	صفر	صفر	صفر	١	١	١	١	صفر

وبقراءة الأعمدة الموجودة تحت السطر العلوى في الجدول من أعلى الى أسفل نحصل على عدد النبضات المسجلة بالعد الثنائي •

وللتمييز بين الصفر والثمانية يجب أن نضيف مرحلة رابعة ،
تماما كما احتجنا الى المرحلة الثانية لتمييز بين الاثنين والصفر والمرحلة
الثالثة لتمييز الأربعة من الصفر .

وبهذا يمكننا ان نعرف بمجرد النظر الى مجموعة نطاطة كم نبضة
وصلت الى المرحلة الأولى .

ويمكن لدائرة مكونة من ثلاثين مرحلة نطاطة ان تعد ما يزيد على
ألف مليون نبضة ، أو على وجه الدقة ٨٢٣٧٤٤٠٧٣١ نبضة . فإذا
أردنا ان تعد نبضة واحدة أكثر من ذلك ، يجب ان نضيف المرحلة
الحادية والثلاثين لأن هذه النبضة ستعيد المراحل الثلاثين جميعها الى
حالتها الأولى ، ولكن اذا أضفنا هذه المرحلة يمكننا ان نستمر في العد
الى ٢١٤٧٤٨٩٦ نبضة .

وتجمع عناصر العد من الصمامات الالكترونية والمكونات المصاحبة لها
في وحدات قياسية تكون الدائرة الحسائية للمكنة .

ويمكن لمثل هذه المكنة ان تجمع عشرين كل منها يتكون من تسعة
أرقام في أقل من ثلاثة أجزاء من المليون من الثانية .

ولا يستطيع أى انسان ان يدخل الاعداد في الدائرة الحسائية
للمكنة بالمعدل الذى يشغلها بالكامل ، وهذا الموقف يشابه ذلك الذى
واجهه عمال التلغراف بعد اختراع أجهزة التلغراف الآلية عالية السرعة .
اذ يمكن لهذه الأجهزة أن ترسل عشرات الآلاف من الكلمات في الساعة
بحيث لا يستطيع العمال تفديتها بالرسائل بالسرعة المناسبة . ولكن
سرعان ما وجد الحل ، اذ يقوم عدد من العمال المزودين بمكنات خاصة
بتثقيب الرسائل أولا على شريط من الورق بحيث يمثل كل حرف
بمجموعة من الثقوب ، وبعد هذا يفذى الشريط المثقب في جهاز ارسال
التلغرافى الذى يرسل الرسائل آليا بالسرعة المطلوبة .

وقد استخدم مصممو الآلات الحاسبة ذات السرعة العالية نفس
الفكرة . والآن يعتبر جهاز الدخل جزءا ضروريا من أجزاء هذه الآلات
الحاسبة . اذ تثقب لمادة المراد تفديتها الى الآلة الحاسبة أولا على بطاقة
أو شريط من الورق . والشفرة المستخدمة هنا إحدى الشفرات التى
كانت مصممة للتلغراف الآلى ، ولكن الآلة الالكترونية لا تستجيب
الا للاشارات الكهربائية أو النبضات . ولذلك يعتبر الشريط المثقب للآلة
الحاسبة الالكترونية كالكتاب للانسان .

ويعمل جهاز الدخل عمل العينين للآلة اذ يقرأ الشريط ويحول مجموعات الثقوب الى مجموعات من النبضات التي يمكن للآلة ان تفهمها »

ويعمل جهاز الدخل في الآلة الرياضية الحديثة بالطريقة التالية : يوجد بالشريط الذى يمر بين مصباح كهربائى وخليتين ضوئيتين صفان من الثقوب ، يحتوى احدهما على ثقوب على مسافات متساوية والآخر يحتوى على ثقوب تتغير طبقا لشفرة خاصة . وتقرأ كل خلية صفا من الثقوب . ونتيجة لهذا تولد احدى الخليتين نبضات تزامن تؤلف الايقاع بالنسبة لعمل الآلة ، بينما تولد الخلية الأخرى نبضات طبقا للشفرة التى كانت مستخدمة فى تسجيل المسألة وبرنامج الحساب . فعندما يمر جزء غير مثقوب من الشريط أمام الخلية الضوئية ، لا يسقط عليها ضوء وعندما يمر أمامها أحد الثقوب يسقط الضوء عليها لزم من قصير وتتولد نبضة كهربائية ، ويمكننا ان نلاحظ هذه الفكرة عمليا عندما يمر قطار بضاعة بيننا وبين مصباح كهربائى ، اذ نرى ومضات من الضوء فقطع عندما تمر الثغرات التى بين العربات أمامنا .

وكما نعرف الآن ، تستخدم الدوائر الحسابية فى الآلة النظام الثنائى ، وكذلك باقى الآلة ، ولكن الانسان معتاد على النظام العشري الذى له عدة مزايا فى الحسابات المعتادة . لهذا السبب ادخل المصممون فى اعتبارهم تمكين عامل التشغيل من تسجيل مادته على الشريط المثقب بالنظام العشري ، بينما يتم التحويل الى النظام الثنائى أوتوماتيكيا اما فى مكنة التثقيب أو بواسطة الآلة الحاسبة الالكترونية نفسها .

ويعتبر جهاز الدخل من ابطأ أجهزة الآلة اذ لا يستطيع قراءة أكثر من ٢٠ الى ٤٠٠ رقم فى الثانية ، وهذا يعنى انه من غير المفيد اطلاقا التحكم فى تشغيل المكنة بالاستعانة بالبطاقات المثقبة مباشرة ، لانه يستحيل بهذه الطريقة تحميل الوحدات الحسابية ذات السرعة العالية الى اقصى طاقتها ، وهنا يدخل فى الميدان جزء هام من أجزاء الآلة ، وهو وحدة الذاكرة .

وبدون وحدة الذاكرة ، يستحيل استغلال المقدرة الجبارة «للأيدى» الكهربائية للآلة وهى الوحدة الحسابية لذاكرة الآلة ، بالإضافة الى هذا ، أن لها أهمية أكبر بكثير من مجرد اسراع التشغيل ، اذ انها هى الجزء الوحيد فى الآلة الذى يمكنها من الصرف منطقيا - الأمر الذى كان الى عهد قريب الامتياز الوحيد للانسان - فى حل المشاكل مثل اختيار أحسن طريقة للحل أو اختيار النتائج أو ترجمة نص ما الى لغة أخرى .

وتخزن ذاكرة الآلة البرنامج - وهو قائمة الأوامر التي تتحكم في تشغيل الآلة بأكملها - وكذلك البيانات الأولية للمسألة ونتائج الحسابات الوسطى . وكذلك تحتفظ بالنتيجة النهائية الى ان تنقل الى جهاز خروج خاص .

وستتناول جهاز الخرج فيما بعد ، بعد ان ندرس تصميم وحدة الذاكرة .

ليست ذاكرة المكنة (أو خزانتها) بالشئ الجديد . فمثلا يتذكر الشريط المغناطيسى الأصوات ، وكذلك يخزن الفيلم الفوتوغرافى الصور ، وكذلك تخزن أنابيب أشعة الكاثود المستخدمة فى أجهزة التليفزيون الصور المرسله لجزء من الثانية ، وكذلك يمكن ان يقال ان الكتاب « يتذكر » محتوياته و « ينقلها » الى القارى .

وفى الحقيقة هناك نوعان من الذاكرة فى الآلة الحاسبة الالكترونية: الذاكرة الداخلية (أو العاملة) لاختزان البرنامج والنتائج الوسطى المطلوبة للعملية التالية ، والذاكرة الخارجية وتكون سعتها أكبر . وعادة تحتوى الذاكرة الداخلية على ١٠٢٤ أو ٢٠٤٨ كمية ، وتتكون من مراحل نطاطة تعود الى حالتها الأولى (« مفتوحة » أو « مقفولة ») بعد عدد محدد من النبضات لزمان يكفى لحل المسألة أو من أنابيب أشعة كاثود كتلك المستعملة فى التليفزيون . وكذلك توجد أنواع أخرى من الذاكرات العاملة ، الذاكرة ذات الزئبق والذاكرة ذات القلب المغناطيسى . الخ .

وتسجل الذاكرة الداخلية للآلة الحاسبة طراز بى سم - التى تستخدم أنابيب أشعة الكاثود - الأعداد وتقرأها فى حوالى جزء من مائة ألف جزء من الثانية .

وهذا هو ما يمكن الآلة الحاسبة من ان تعمل بسرعة عالية .

وتعمل الذاكرة الخارجية كاحتياط للذاكرة الداخلية ولا تشترك فى الحسابات بصفة مباشرة . وتستخدم عادة التسجيل المغناطيسى على شريط أو اسطوانة بطريقة تشبه تلك المستخدمة فى مسجل الصوت ذى الشريط . ويمكن للأسطوانة المغناطيسية ان تخزن ٥١٢٠ كمية ، بينما يمكن للشريط ان يخزن ٣٠٠٠٠ كمية . ولا يوجد - عمليا - حد لسعة الذاكرة الخارجية حيث انه يمكن دائما استخدام عدة اسطوانات أو أسرطة .

وتسجل نبضات الشفرة الثنائية على الشريط المغناطيسى

او الاسطوانة على شكل مناطق متجاورة ممغنطة وغير ممغنطة . وتعتبر
الأقسام الممغنطة عن الواحد ، بينما تعتبر الأقسام غير الممغنطة عن الصفر ،
وتسجل نبضات التزامن الإضافية بجوار النبضات الشفرية .

ويتم نقل البيانات من الذاكرة الخارجية الى الذاكرة العاملة في
الآلة طراز بى س م مثلا بسرعة ٤٠٠ كمية في الثانية .

ويقسم جزء الذاكرة من الآلة الحاسبة الالكترونية الى عدد من
الخلايا تحتزن مختلف الكميات . وجميع الخلايا مرقومة ، و « لأخذ »
اية كمية من الذاكرة ، يجب معرفة رقم الخلية المختزنة فيها .

وينظم جهاز التحكم جميع عمليات الآلة الحاسبة الالكترونية من
نقل الكميات المختلفة من الذاكرة الى الوحدة الحسابة والقيام بالعمليات
الحسابية اللازمة ونقل النتائج الى الذاكرة العاملة ونقل الأرقام من
الذاكرة الخارجية الى الداخلية وبالعكس .

يعمل جهاز التحكم ، وهو بمثابة القلب للآلة الحاسبة ، حسب
برنامج يكتبه الانسان .

ويسجل برنامج الآلة الحاسبة وكذلك الظروف الابتدائية للمسألة
على شريط مثقب ويدخل ذاكرة الآلة الحاسبة الداخلية عن طريق
جهاز الدخل .

ويتكون البرنامج من مجموعة من الأوامر التى تنقل بدورها من
الذاكرة العاملة للآلة الحاسبة الى جهاز التحكم . وبوساطتها تضبط
الأجزاء الأخرى من الآلة الحاسبة حسب الرغبة .

وتتم جميع العمليات آليا بدون تدخل من الانسان ، بل تنفذ الآلة
نفسها جميع العمليات المسجلة فى البرنامج بما فيها جميع عمليات الاختبار
اللازمة وتسجل النتائج فى الذاكرة الخارجية .

ولا يمكن للآلة الحاسبة الالكترونية ان تعمل بدون برنامج
ولا تحدد جودة البرنامج ما اذا كانت النتيجة النهائية صحيحة فحسب ،
بل ايضا الزمن الذى تستغرقه الآلة الحاسبة لتعطى الاجابة . وتعتبر
كتابة البرنامج الجيد مشكلة معقدة تتطلب مهارة رياضية وعقيرة .

والآن يحق لنا ان نتساءل : ما هو هذا البرنامج الذى نتكلم عنه ؟

ان برنامج الآلة الحاسبة الالكترونية يشبه المجموعة من الأوامر
التي قد يعطيها عالم رياضى لشخص لايعلم شيئا عن الرياضيات ولكنه

مدرب على تشغيل مكنة جمع . اذ قد يعطى مثل هذا « الحاسب » ورقة مقسمة الى مربعات تحتوي على الكميات الابتدائية وتعليمات عن كيفية استخدام هذه الكميات وبأى ترتيب وأى العمليات يؤديها بها وأين يكتب النتائج . فمثلا يمكن ان يكون الأمر الخاص بجمع ٣٧ و ٤٨ على هذه الصورة : اجمع ٣٧ و ٤٨ واكتب النتيجة فى السطر الأول من العمود الخامس .

ولتبسيط الأمور ، يمكن ان يحتوى البرنامج على أرقام الخلايا المسجلة فيها الكميات بدلا من الكميات نفسها وبدلا من الكلمات اجمع واطرح واضرب ٠٠٠ الخ تعبيرات شفرية يصطلح عليها . فمثلا : ١ . بدلا من « اجمع » ، ٠٢ بدلا من « اطرح » ٠٠٠ الخ . وبدلا من الكلمات : « فى السطر الأول من العمود الخامس » الرقم ١٥ (« السطر الأول » و « العمود الخامس ») بعد الكميات المراد جمعها ، فمثلا اذا كانت الكمية ٣٧ فى الخلية الثانية عشرة والكمية ٤٨ فى الخلية الثالثة عشرة ، فان نفس الأمر السابق يبدو كما يأتى (من اليسار الى اليمين) :

خلية النتيجة	خلية الكمية الثانية	خلية الكمية الأولى	العملية
١٥	١٣	١٢	٠١

أو كالاتى اذا أريد كتابة الأمر كعدد واحد : ٠١١٢١٣١٥ ، وبهذا لا يحتاج الحاسب المدرب الى أى علم بالرياضيات ليستطيع قراءة هذا الرقم والحصول على النتيجة ٨٥ بالاستعانة بمكنة الجمع وكتابتها فى السطر الأول من العمود الخامس من الجدول المعطى له .

وقد كانت هذه الطريقة هى التى اتبعت تقريبا فى حل مشكلة نقل الكتابة الصينية بالتلغراف . فبدلا من اختراع اشارات تلغرافية لآلاف الكلمات المحتوية عليها اللغة الصينية ، كانت هذه الكلمات ترتب فى جداول ، وهكذا يكفى ارسال الأعداد الشفرية الدالة على رقم الجدول والسطر والعمود الموجودة فيه الكلمة .

وهذا يعنى ان من يحصل على هذه الجداول يمكنه ارسال هذه الكلمات واستقبالها حتى ولو لم يعرف معناها .

وبطريقة مشابهة تجهز أعمال الآلات الحاسبة الالكترونية وبرامجها . فتتقب البيانات الأولية والأوامر التى تبين الى أية خلية من

خلايا الذاكرة الداخلية ترسل كل كمية في شريط من الورق • ويتكون البرنامج من مجموعة من الأوامر تبين من أى خلية من خلايا الذاكرة تؤخذ الكمية الأولى والثانية وأى العمليات يتم عليها والى أين ترسل النتيجة • وعند استقبال الأمر التالى من الذاكرة العاملة ، توصل وحدة التحكم خلايا الذاكرة المطلوبة بالوحدة الحسابية وتطلب الأمر التالى من الذاكرة أثناء تنفيذ الأمر الأول •

ولكن ماذا نفعل اذا أردنا اجراء عمليات كثيرة لحل مسألة ما ؟
فمثلا هل من الضروري تجهيز برنامج مكون من ٢٥٠ مليون أمر لدراسة بيانات المساحة الجيوديسية ؟

مثل هذا الأمر يستغرق أعواما مما يلغى ميزات الآلة الحاسبة الالكترونية ! •

ولحسن الحظ أن الأمر ليس كذلك ، اذ يمكن لغالبية المسائل المعقدة ان تختصر الى مجموعات قصيرة مكررة من العمليات الأولية (الجمع والطرح والضرب والقسمة) مرتبة ترتيبا خاصا • وفى هذه الحالة يتطلب حل المسألة تكرارا دوريا لهذه العمليات مع تغيير البيانات الأولية حسب نظام محدد •

ويمكن للآلة أن تقوم بكل هذا أوتوماتيكيا بسرعتها العالية •

وبالرغم من ان حل كل مسألة رياضية يمكن أساسا ان يحول الى تنفيذ متتاليات مقفلة من العمليات الأولية ، فان هذه المتتاليات تكون فى معظم الحالات العملية طويلة نسبيا مما يجعل كتابة البرنامج عملية شاقة للغاية • وهنا يمكن تبسيط كتابة البرنامج تبسيطا كبيرا باستخدام البرامج القياسية ، ومن هذه البرامج استخراج الجذور التربيعية واستخراج اللوغاريتمات وحساب جيوب الزوايا ... الخ ، وتحفظ هذه البرامج مع جميع البرامج التى كتبت من قبل فى مكتبة البرامج • فاذا احتيج الى الحصول على اللوغاريتمات لحل مسألة جديدة مثلا ، لانتج الى تحويل هذه العملية ثانية الى عمليات أولية ولكن نضع برنامج اللوغاريتمات المعروف فى المكان المناسب من البرنامج ، وبمجرد ان تنتهى الآلة الحاسبة من هذا البرنامج الفرعى تستمر فى الحساب حسب البرنامج الرئيسى •

وبالاستعانة بهذه البرامج القياسية المجهزة لحل أكثر المسائل شيوعا ، يمكن تجهيز البرامج لحل أعقد المسائل باضافات قليلة •

ويمكننا ان نعتبر برنامج « كتابة البرامج » الذى تم فى معهد الميكانيكا الدقيقة وتقنيات الآلات الحاسبة التابع لأكاديمية العلوم السوفيتية من الأعمال ذات الأهمية الخاصة فى هذا المجال . وببسط هذا البرنامج عملية كتابة البرامج المعقدة كما يقصر الزمن الذى نحتاجه بدرجة ملحوظة .

ومن السمات ذات الأهمية الخاصة للآلات الحاسبة الالكترونية قدرتها على القيام بالعمليات المنطقية المعقدة نسبيا . ويمكن للوحدة الحسابية ان تقوم ببسط عمليات المقارنة المنطقية التى يمكن اجراؤها عن طريق الطرح ، فاذا كان باقى طرح الكمية أ من الكمية ب صفرا ، فان هذا يعنى ان الكميتين متساويتان . فاذا كان هناك باقى دل هذا على ان أ أكبر من ب ، فاذا لم يكن الطرح ممكنا تبديل الآلة الحاسبة أوتوماتيكيا مكانى الكميتين وبعد الحصول على الباقي تعطى الإجابة ان ب أكبر من أ .

وباستخدام نتائج المقارنة يمكن للآلة ان تختار أيا من عدة طرق (★) لاستمرار الحل اذا كان ذلك ضمن البرنامج . فمثلا يمكن أن يحتوى البرنامج على أمر بعدم الاستمرار فى الحساب اذا تساوى أ و ب أو بالاستمرار اذا كان أ أكبر من ب ، أو بالرجوع الى البداية مع تغيير الظروف الابتدائية اذا كان ب أكبر من أ .

وبهذه الطريقة يمكن ان تقوم الآلة الحاسبة بالحسابات المعقدة لتصميم الكبارى والطائرات والسفن ، كما يمكنها ان تنتقى احسن نموذج من نماذج التصميم ، أى تقوم بعملية الانتقاء المنطقية وذلك بتقييم النتائج من وجهة نظر خاصة معينة (مثل أقل وزن بالنسبة لقوة معينة) .

وبوساطة هذا الاختبار ، يمكن للآلة الحاسبة أيضا ان تحلل معنى الكلمات المختلفة عند القيام بالترجمة من لغة الى أخرى . ونضرب هنا مثلا مفتعلا الى حد ما : يختلف معنى الكلمة الانجليزية المقابلة لكلمة « يفرغ » اختلافا بينا حسب ما اذا كانت الكلمة التى بعدها « عمل » أو

(★) هى فى الواقع ثلاث طرق لأن عدد الحالات ثلاث ، إما أ = ب أو أكبر أو أقل . وفى كثير من الأحيان تختصر هذه الطرق الى اثنتين فيقال مثلا : اذا كان أ = ب يسير الحل فى هذا الطريق والا فى الطريق الآخر - المترجم .

« عامل » • وتحليل الكلمة التي تلى « يفرغ » تنتقى الآلة أوتوماتيكيا
المعنى « يقوم ب » أو « يطرد » (★) • وسنتناول هذا الموضوع بتفصيل
أكثر فيما بعد •

ويمكن للآلات الحاسبة ان تقوم بعمليات منطقية أكثر تعقيدا ، مثل
العمليات من نوع « و - و » أى تقوم بعملية معينة فقط اذا كانت خليتان
معينتان من خلايا الذاكرة مشغولتين فى وقت واحد والعمليات من نوع
« لا - لا » أى تقوم بالعملية فقط اذا كانت الخليتان فارغتين فى وقت
واحد ، وكذلك الكثير من العمليات المنطقية الأكثر تعقيدا والتي تتكون
من مجموعات من العمليات المنطقية الأولية •

وبهذا نكون قد درسنا المراحل الأولى فى تشغيل الآلة الحاسبة ،
وهى باختصار : تدخل الظروف الابتدائية للمسألة وبرنامج حلها الى
دائرة الدخل بواسطة شريط مثقب ، ثم تنتقل الى الذاكرة العاملة ثم
تبدأ الآلة الحاسبة فى الحساب •

وبانتهاء البرنامج ، تغذى نتائج الحساب الى الذاكرة الخارجية •

ثم يبدأ جهاز الخرج فى تسجيل النتائج على فيلم حساس (جهاز
الخرج الفوتوغرافى) أو على شريط من الورق على شكل جداول محولة الى
النظام العشري ، وهذا الجهاز ابطأ مكونات الآلة الحاسبة • وتصل سرعة
آلة الخرج الى ٢٠٠ رقم فى الثانية ، بينما تصل سرعة آلة الخرج الكاتبة
الميكانيكية الكهربائية والتي تستخدم غالبا الى ١٥ رقما فى الثانية •

وهنا يحق لنا أن نسأل : هل هناك ثقة مطلقة فى صحة نتائج
الحسابات ؟ لا بد وان هناك فرصة للأعطال (مثل احتراق صمام) فى
مثل هذه الدوائر شديدة التعقيد مما يسبب أخطاء •

والاجابة على هذا السؤال : ان مثل هذه الحوادث قد وضعت فى
الحسبان ، ولهذا يجب أن يحتوى البرنامج على أمر للاختبار ، وأبسط
هذه الأوامر : « اعد جميع الحسابات وقارن النتائج » ، وهذه الطريقة
يستخدمها كل من أطفال المدارس والحاسبين ذوى الخبرة على حد سواء ،
وهى مفيدة فى الحسابات البسيطة ولكنها لا تصلح للحالات المعقدة ،
اذ لا يمكن اعتبار العثور على خطأ بعد تشغيل الآلة الحاسبة لمدة عشرين

(★) المانى هنا للكلمات الانجليزية المستخدمة فى النص الانجليزى للكتاب.
على الترتيب - للترجم •

ساعة واكتشاف انه حدث منذ البداية طريقة اقتصادية • ولهذا السبب فان هناك طرقا أكثر استخداما فمثلا توقف الحسابات الجارية ثم تقوم الآلة الحاسبة باجراء عملية حسابية خاصة للاختبار تستخدم جميع وحداتها ومكوناتها ونتيجتها معروفة ، فاذا كانت النتيجة صحيحة دل هذا على عدم وجود اخطاء بالآلة الحاسبة •

وهناك طرق أخرى أيضا مثل اجراء العمليات المتوسطة بترتيب مختلف أو استخدام طرق أكثر تعقيدا للاختبار المنطقي ، فمثلا عند حساب مربع قطر مستطيل ، يحسب مجموع مربعي ضلعيه بعملية مستقلة ، ثم تقارن النتيجةتان (من الواضح أن الطريقة المقصودة في البرنامج هي باستخدام نظرية فيثاغورس) •

وجدير بالذكر ان اختبار تشغيل الآلة الحاسبة يضاعف تقريبا من زمن الحساب •

والصيانة المانعة الدورية لمعدات الآلة الحاسبة توفسر في زمن التشغيل الى درجة كبيرة ، ولكنها عملية لا يمكن الاستغناء عنها لضمان الثقة في صحة تشغيل مثل هذه الأجهزة المعقدة •

ويجب ملاحظة أن جميع العمليات التي تحدث في الطبيعة تقريبا يمكن التعبير عنها رياضيا بمعادلات ، اذ تتحكم القوانين التي يمكن تقييمها كليا في مختلف الظواهر الميكانيكية والكهربائية والحراية وحتى الظواهر الفسيولوجية • وحتى تلك العمليات المتعلقة بالنشاط العصبي والعقل للإنسان يمكن وصفها رياضيا من نواح معينة • وهذا دليل آخر على أن حدود استخدام الآلة الحاسبة الالكترونية تتراجع بانتظام مما يجعلها تشتمل على دائرة من الموضوعات تتسع باستمرار •

وبالإضافة الى الآلات الحاسبة الرقمية التي ذكرناها ، هناك مجموعة كبيرة من الآلات الحاسبة الالكترونية بالقياس ، فبينما تعمل الآلات الحاسبة الالكترونية الرقمية بالأرقام ، أى بقيم تتغير على خطوات ، نجد ان الآلات الحاسبة بالقياس تتناول القيم الرياضية على شكل قيم متغيرة تغيرا مستمرا مثل فلتية تيار كهربائي • ومثل هذه الآلات لا تعطى نتائج بالأرقام وانما ترسم في الحال منحني للقيمة الجارى دراستها في اعتمادها على الظروف المختلفة •

وحتى تتمكن الآلة الالكترونية الحاسبة بالقياس من أن تدرس اية عملية يجب أن تصاغ هذه العملية على هيئة مجموعة من المعادلات الرياضية • ثم يمثل كل ثابت أو متغير في هذه المعادلات في الآلة

الحاسبة بقيمة مناظرة له تماما مثل الفلظية بين نقطتين معنيتين فى الدائرة ، وبهذه الطريقة تكون داخل الآلة الحاسبة بالقياس نفس العلاقات بين مستويات الفلظية كما هى بين القيم الرياضية الموجودة فى مجموعة المعادلات ، أو بعبارة أخرى تحاكي الآلة العملية تحت البحث .

ويمكن للقياس الالكترونى ان يستخدم مثلا فى دراسة تسرب الماء تحت السد فى محطة كهربائية مائية بحيث يولد منحني يبين العلاقة بين كمية التسرب والزمن . وفى الطيران ، يستخدم القياس الالكترونى الذى يحاكي طيران الطائرة بحيث يمكن اختبار الأنواع الجديدة من الطائرات حتى قبل صنعها . ويمكننا ان نذكر على سبيل المثال الآلة الالكترونية البريطانية « الترايداك » ، فبالاستعانة بهذه الآلة يمكن تعريض الطائرة التى صممت ولم تصنع بعد لمختلف الاختبارات بما فيها العواصف وتساقط الثلج وحتى الحوادث . وتسجل نتائج الاختبار على شكل منحني لطيران الطائرة . وبالإضافة الى هذا يمكن مشاهدة عمليات الطيران وذلك بمراقبة حركة مجموعة من المؤشرات تحاكي حركة الطائرة فى مختلف المستويات . ويمكن للترايداك ان تحاكي طيران صاروخ أو تدرس معركة بين طائرتين لاكتشاف قدرتهما على المناورات وذلك للمساعدة على اختيار أحسن تكتيك للمعركة . اما الآلة الحاسبة بالقياس طراز م ه ٨ السوفيتية فهى أكثر عموما ، اذ يمكنها محاكاة طيران سفينة فضاء وإظهار التفاعل بين شيئين أو بين عمليتين معقدتين تعتمدان على مجموعة كبيرة من التغيرات ، كما يمكنها بيان تكون الجبال فى المستقبل . وكثير من الأشياء الأخرى . وتساعد الآلات الحاسبة بالقياس على اختبار عدد كبير من المكننات من جميع الأنواع من الطائرات الى المحطات الكهربائية المائية بدون تحمل تكاليف انشائها .

وسنتناول الآن بعض الآلات الحاسبة الالكترونية التى تصنع فى الاتحاد السوفيتى والدول الأخرى . ولقد وجه أخيرا الكثير من الانتباه نحو ميكنة العمل المكتبى ، اذ أن هذا النوع من العمل من أكثر الأعمال إرهاقا للنشاط الذهني آدمي ومن أكثرها مللا . وتتضمن هذه الأعمال امساك الدفاتر والعمليات المصرفية والحسابات الاقتصادية المختلفة وعمليات التخطيط والحاسبة ٠٠٠ الخ . وتتحكم فى هذه العمليات مجموعة من القواعد القياسية التى يمكن تحويلها بسهولة الى برنامج للآلة الحاسبة الالكترونية . ونذكر على سبيل المثال للآلات الحاسبة الالكترونية المصممة للمساعدة فى وضع برامج الانتاج وعمليات التخطيط والأعمال المكتبية الأخرى المكننات الأمريكيتين أ ب م - ٦٥٠ و ه المون

روبوت ، • وتستخدم المكنة طراز أ ب م - ٦٥٠ مثلا في الحسابات الاحصائية لمبالغ التأمين المرتبطة بحوادث النقل • وتصنع شركة « رمنجتون راند » الامريكية الآلة الحاسبة الالكترونية « يونيفاك » التي يمكنها القيام بعمل عدة مئات من الموظفين الكتابيين • فتحسب مرتبات ١٢٠٠٠ عامل بالمصنع مع حساب العمل الاضافي والخصومات وتطبع أوتوماتيكيا استمارات المرتبات ، وتمسك سجل بطاقات توزيع العمل ، وتمسك حسابات البضائع وتحسب التكاليف الكلية للإنتاج وعملياته • وتذكر الشركة المنتجة انه يمكن استخدام هذه الآلة لتخطيط تموين المواد الخام واختبار منحنيات الخرج ، وكذلك تمسك حساب العرض والطلب • وقد صنعت قريبا الآلة الحاسبة الالكترونية داتاماتيك - ١٠٠٠ ويمكنها القيام بالعمليات التالية : تحسب المدفوعات وتكتب الفواتير وتضع قوائم العملاء وعناوينهم وتراجع كمية البضائع الموجودة في المخازن ٠٠٠ الخ ، وتخزن ذاكرة هذه الآلة ٢٠٠٠ كلمة •

تبيع إحدى شركات شيكاغو ٨٠٠٠ سلعة مختلفة في أنحاء البلاد ، ولمسك حسابات كل هذه البضائع ، كانت الشركة تستخدم مائة محاسب يعملون على ماكينات الجمع ذات الأزرار • وفي سنة ١٩٥٤ حصلت الشركة على آلة حاسبة الكترونية يمكنها القيام بكل هذا العمل وحدها • فكانت تعد كل ليلة ايصالات النهار وتؤدي الحسابات الأخرى التي كانت تؤدي من قبل في اسبوعين •

ويجب ان نذكر هنا أيضا بعض الآلات الحاسبة الالكترونية البريطانية المصممة للأعمال المحاسبية ، مثل « الليو » ، وهذه الآلة تضع قوائم مرتبات ١٠٠٠٠ عامل وتمسك حسابات ١٥٠ بوفيه في لندن • وتحتاج هذه الآلة الى ساعة لاتمام قوائم مرتبات ١٧٠٠ عامل • وتوزع الآلة الحاسبة طراز اليوت - ٤٠٢ أوامر المخازن وصالات الأكل وتعددها وتحسب مقدار العمل الذي ينجزه ٨٠٠ فرع • وتسجل الآلة الحاسبة الالكترونية ايرما - ١ جميع معاملات البنك مع مسك حساب الدخل الكلي والنفقات ، كما تفرز الشيكات والايصالات بمعدل عشرة في الثانية •

ومن المتوقع ان يظهر في الاعوام القليلة القادمة نوع جديد من الآلات الحاسبة الالكترونية التي تحل تماما محل المحاسبين في الشركات الصغيرة •

وقد قامت شركة راديو كوربوريشن اوف اميريكا بصناعة آلة

حاسبة لخدمة قواعد الدبابات فى الولايات المتحدة ، وهى تراجع قطع غيار المركبات الحربية وتستبدلها ، ويمكنها ان تعرف فى دقائق الكمية المطلوبة من أى نوع من أنواع قطع الغيار ، كما يمكنها أيضا ان « تتنبأ » بالاحتياجات المستقبلية منها . وتخزن ذاكرتها ٢٠٠ ٠٠٠ اسم لقطع الغيار من المسامير الى المحركات الكاملة .

وقد بدأ استخدام الآلات الحاسبة الالكترونية فى المكاتب الصنعية لطبع اسماء المشتركين فى مطبوعات ، يصل توزيعها الى ملايين من النسخ ، وعناوينهم أوتوماتيكيا ولأغراض أخرى مختلفة .

ويجب أن نذكر هنا أيضا آلة حاسبة الكترونية مشهورة أخرى تسمى « مانيك » ، وتتنبأ هذه الآلة بالأحوال الجوية ، اذ تحل هذه الآلة مجموعات معقدة من المعادلات التى تتناول تحركات الكتل الهوائية مع كمية هائلة من البيانات التى تطلقها من شبكة ضخمة من المحطات الميتورولوجية فى ساعة واحدة لتتنبأ بالأحوال الجوية لليوم التالى . وتحل هذه الآلة محل جيش مكون من ٦٤ ٠٠٠ حاسب مزودين بماكينات الجمع الأوتوماتيكية ذات المفاتيح .

وقد أصبحت الآلات الحاسبة الالكترونية وسيلة قوية من وسائل البحث العلمى فى الاتحاد السوفيتى . وتحل الآلات الحاسبة الالكترونية مثل الآلة بى سى م التى صممت تحت اشراف الأكاديمى س . أ . ليبيديف عددا كبيرا من المسائل الرياضية والمنطقية ، وهذه الآلة لا تقل بأى حال عن أحسن آلة أوروبية ، وكذلك الآلات مثل الستريلا التى صممت تحت اشراف بطل العمل الاشتراكى . ي . بازيليفسكى ، والآلة م - ٢ و كريستال و باجودا و اورال ، م ي س م ، ي ز وكثير من الآلات الأخرى . وفى الفترة من ١٩٥٠ الى ١٩٥٥ صممت الآلات الحاسبة الالكترونية المتخصصة طرازى م - ٥ ، م - ٧ ، م - ٨ لحل مسائل الاستغلال السليم لطبقات زيت البترول ، كما صممت الآلة الالكترونية الحاسبة بالقياس طرازى م - ٦ لحساب قوة الأساسات وكتل الانشاء ، كما تستخدم الآلات الحاسبة الالكترونية فى حل المسائل النظرية الخاصة باطلاق المدافع ، والرجوعية والذبذباب ، والديناميكا الهوائية ، والقذائف ، ومرور الجسيمات فى المواد وكثير من المسائل الأخرى . وتصمم الآن الآلات الحاسبة الالكترونية لتجميع المعلومات عن موضوع معين مع حصر أسماء الكتب المكتوبة فيه ، وتحليل نتائج احصاء السكان ، وتخطيط الانتاج والتموين على مستوى الدولة (وهو عمل اعقد بكثير

من تخطيط الانتاج لمشروع واحد من فروع الصناعة كما فى الدول الأخرى) .

وستتناول الآن استخدام الآلات الحاسبة الالكترونية فى السكة الحديد .
فلوضع جداول القطارات ومشاريع خطوط السكة الحديد وتصميم الأنواع الجديدة من القاطرات ، يجب اجراء حسابات خاصة بالجبر والحرارة ، وتحديد استهلاك القدرة الكهربائية واستغلال الشغل الميكانيكى . ونظرا لضخامة حجم هذه الحسابات ، فقد جرت العادة على تبسيطها ، الامر الذى لم يكن يؤدى الا الى الاقلال من دقتها . وقد انتجت الصناعة السوفيتية فى سنة ١٩٥٤ الآلة الالكترونية الحاسبة بالقياس طراز أ ت س - ١ لحسابات الجبر . والآلة طراز أ ت س - ٢ فى سنة ١٩٥٦ للحسابات الحرارية . وتعطى سرعة الآلات الحاسبة الالكترونية الفائقة اسبابا للأمل فى امكان التحكم فى القطارات آليا بالاستعانة بها . وكذلك تشغيل محطات التحويل - حيث يغير اتجاه القطارات - تشغيل اوتوماتيكيا كاملا . ويمكن تبسيط عمل مساحات التحويل اذا صممت آلات حاسبة الكترونية تستطيع أن تختزن فى ذاكرتها المعلومات عن مكان كل عربة فى كل لحظة . ويمكننا هذا من معرفة عدد العربات فى مختلف انحاء الدولة واعدادها للرحيل فى وقت قصير وتوزيع العربات والقطارات بأحسن نظام ممكن .

وقد سخرت الآلات الحاسبة الالكترونية فى الدول الأخرى للقيام ببعض الألعاب بقصد الاعلان ، مثل الشطرنج والضامة وغيرها ، وكذلك نشر وكتابة مؤلفات بمعنى الكلمة ، وتأليف الموسيقى ! فقد نشرت الصحيفة البريطانية « ستار » فى عددها الصادر فى ١٠ أغسطس سنة ١٩٥٦ الخبر الطريف التالى : « عقل الانسان الآلى يؤلف موسيقى » ، وضعت الآلة الحاسبة الالكترونية بجامعة الينوى (الولايات المتحدة الامريكية) متتابعة كلاسيكية من ثلاثة أجزاء للرابعى الوترى . ومن المنتظر ان يتم أول عزف لمتتابعة « البياك » هذه والتى ألفتها هذه الآلة الحاسبة الالكترونية ذات السرعة العالية فى شامبين بولاية الينوى . وبالطبع لن ينظر أحد نظرة جدية الى كتابة القوانين الكلاسيكية للتأليف الموسيقى بشفرة رياضية (بالرغم من أن هذا ممكن من حيث المبدأ) ثم تفويض آلة فى القيام بعملية التأليف الموسيقى الخلاقة . ولكن استخدام الآلات الحاسبة الالكترونية فى لعب الشطرنج وباقى الألعاب المشابهة امر مختلف تماما ، اذ وجد ان المجهود الذى يبذل فى تشغيل مثل هذه الآلات فى هذا الميدان وكتابة البرامج اللازمة لها له علاقة وثيقة بتطوير

مجموعة كبيرة من مكنات التحكم اللازمة فى الاغراض الصناعية والحربية .

ولكن يحق لنا الآن ان نتساءل : كيف يمكننا ان نجعل آلة تقوم بمثل هذه العمليات الخلاقة مثل لعب الشطرنج ؟ • فى الواقع تحكم مثل هذه اللعبة قوانين صارمة يمكن ان يعالجها برنامج الآلة الحاسوبية . وأهم خطوة هنا هى « تعليم » الآلة الحاسوبية كيفية اختيار أو حساب أحسن حركة (من بين عدد كبير من الحركات الممكنة) مع اعتبار القواعد الأساسية للعبة • ولما كانت الآلات الحاسوبية الرقمية لا تتكلم الا لغة الأرقام ، فانه من المناسب جدا تقدير قطع الشطرنج والأماكن المختلفة على الرقعة بالنقط ، فمثلا يقدر الملك ب ٢٠٠ نقطة والوزير ب ٩ نقط والطابية ب ٥ والفيل ب ٥٠ والفرس ب ٣٠ وهكذا • ونظرا لقدرة الآلة على تقدير « ميزة » كل حركة عن طريق حساب عدة حركات ممكنة مقدما ، فانها تستطيع اختيار الحركة « المثلى » وتهزم دائما أى خصم لا يستطيع تقدير عدد مساو من الحركات مقدما كما تفعل الآلة • وكلما زاد عدد الحركات التى يمكنها حسابها زادت فرصتها فى الكسب • ويعتبر تحديد الحل « الأمثل » من الأمور ذات الأهمية العظمى فى تشغيل مكنات التحكم التى سنتكلم عنها فيما بعد •

وتاخذ عملية « تعليم » الآلة الشكل الآتى : لنفترض أن الآلة لا « تعرف » فى بداية لعبها للشطرنج الا معلومات سطحية عن استراتيجية اللعبة ومعلومات ناقصة جدا عن سماتها المميزة ، فمثلا لا تعرف الا القواعد الأساسية للعبة وبعض القوانين التاكتيكية والطرق اللازمة لتحسينها — وهذا هو الأهم — أى أسس « تعلمها » فى أثناء اللعب •

ثم تبدأ الآلة فى تحسين نفسها وزيادة « معلوماتها » بالطرق الآتية : إما أن تقوم بحركات تجريبية وتتذكر النتائج المفيدة وتمحو النتائج غير المفيدة ، أو أنها تقلد خصما أقوى منها ، أو تحصل على المعلومات اللازمة من الخارج مثل مراقب خارجى أو « معلم » يدخل فى البداية أوامر لكل حركة تالية على برنامج أوامر الآلة وهو بهذا يقاسم الآلة خبرته ، أو أن تقوم الآلة نفسها بتحليل أخطائها وسير اللعب عموما بفرض افتقان الأسس التاكتيكية العامة للعبة •

وحتى تستطيع الآلة أن تؤدي مثل هذا التحليل وتحسن « استراتيجيتها » وتسير « طريقة » لعبها ، يجب أن يحتوى برنامج

الآلة على ما يمكنها من أن تدخل في اعتبارها « خبرتها » التي اكتسبتها من الألعاب السابقة وتستجيب للتعليمات الخارجية .

وبالطبع ليس استخدام الآلات الحاسبة الالكترونية في لعب الشطرنج واضامة والنرد والورق وباقي الألعاب المشابهة ووضع البرامج لتحسين استراتيجية اللعب ذاتيا هدفا في حد ذاته . بل ان تصميم الآلات « المتعلمة » ووضع البرامج التي تمكنها من تحسين نفسها ذاتيا ان ذلك يساعد الانسان على توسيع امكانيات الآلات الحاسبة الالكترونية . وستصبح مثل هذه الآلات ذات قيمة اقتصادية كبرى في المستقبل . كما أن الحصول على القيمة « المثل » يعتبر عملية أساسية بالنسبة لمكنات التحكم التي سنتناولها فيما بعد .

ويوما بعد يوم ، تتقدم حدود استخدام الآلات الحاسبة الالكترونية الى الأمام ، وتحسن التصميمات ، وتظهر أنواع اكمل وأحدث ، وقد تفلغت هذه الآلات بالفعل في تلك الميادين مثل الفيزياء النووية واللاسلكي والالكترونيات والكيمياء والبيولوجيا ، كما تستخدم للقيام بعمليات هامة في التحكم الذاتي وأجهزة التنظيم ، وفي ميكنة عمليات التحكم في الهيئات الصناعية والبلدية والادارية .

ومن المتوقع ظهور آلات حاسبة الكترونية أكثر اقتصادا وأصغر حجما وأكثر عولا وتستطيع القيام بعمليات جمع وطرح تصل الى ١٠٠٠٠٠ في الثانية في المستقبل القريب .

الصمامات تترجم

بعد ظهور أولى الآلات الالكترونية الحاسبة بقليل ، فتح أمامها ذلك الباب المغري وهو استخدامها في الترجمة من لغة الى أخرى . فالمعروف ان أية لغة تحكمها قواعد محددة من الاشتقاقات اللفظية وقواعد اللغة . وتم الترجمة من لغة الى أخرى طبقا لقواعد محددة يمكن وضعها على شكل برنامج لآلة حاسبة الكترونية رقمية . والجملة الآتية التي قالها العالم الأمريكي ويفر من أهم ما قيل في هذا المجال : « ان أى مكتوب باللغة الصينية ما هو الا كتاب باللغة الانجليزية مكتوب بشفرة صينية » . وهذه العبارة تؤكد تجانس عمليات الفكر الانساني . اذ أن جوهر هذه العملية لا يعتمد على اللغة أو الحروف المستخدمة في التعبير

عن فكرة معينة . وهذا هو الأساس الذى يجعل تسخير الآلة الحاسبة
فى الترجمة ممكنا .

وحتى الآن لا يمكن للآلات الحاسبة الالكترونية الموجودة القيام
بترجمة كتاب أو مخطوط مباشرة ، لأن لغة الآلات الحاسبة هى الأرقام .
ولهذا يجب أولا ان يستبدل النص الحرفى بنص رقمى بطريقة تشبه
تلك المستخدمة فى نقل التلغرافات بجهاز بودو . ففى هذا الجهاز
يستبدل كل حرف من حروف الرسالة بمجموعة مكونة من رقمين .
وبهذا تمثل كل كلمة من الرسالة برقم معين .

ولاستخدام الآلة الحاسبة الالكترونية الرقمية فى الترجمة الآلية ،
وضع الخبراء قاموسا استبدلت فيه الكلمات بأرقام مناظرة . ويتكون
القاموس من جزئين ، انجليزى وروسى مثلا . ويدخل القاموس والبرنامج
الى ذاكرة الآلة بحيث يمكن العثور على كل كلمة من كلمات القاموس تحت
رقم معين .

فاذا كان هناك معنى واحد لكل كلمة من كلمات النص المراد
ترجمته فى اللغة الأخرى وكان ترتيب الكلمات فى اللفتين واحدا ، يمكن
أن تتم الترجمة الآلية كما يلى : عند قراءة كلمة باللغة الانجليزية مثلا
(أو بمعنى أدق رقمها المناظر) ، تقارن الآلة هذه الكلمة بكل الكلمات
الانجليزية (أو أرقامها المناظرة) المخزنة فى القاموس الانجليزى ، ثم
تبحث (بطرح أحد الرقمين من الآخر للحصول على الصفر ، عن الكلمة
الصحيحة وتذكر رقم خلية الذاكرة التى بها الكلمة الروسية المناظرة
لها . وبهذه الطريقة يطبع جهاز الخرج فى الآلة الحاسبة أوتوماتيكيا
الكلمات الروسية التى تكون الجملة المترجمة .

ولكن الأمور أعقد من هذا بكثير فى الواقع ، اذ يختلف ترتيب
الكلمات فى معظم اللغات اختلافا بينا ، وبالإضافة الى ذلك قد يتغير
معنى الكلمة الواحدة حسب وضعها فى الجملة واستخدامها مع الكلمات
المجاورة لها . وكما يستخدم الانسان كثيرا فى لفته اليومية كلمات
مختلفة للتعبير عن نفس الشيء ، فان الكلمة الواحدة كثيرا ما يكون لها
عدة معان ، وعند الترجمة من لغة الى أخرى نادرا ما يمكن الترجمة كلمة
بكلمة اذ تحكم تركيب الجملة فى كل لغة قواعد محددة ، كما ان بعض
الكلمات لا معنى لها فى ذاتها ولا تمكن ترجمتها منفردة بأية حال من
الأحوال . ولهذا السبب لا يمكن للآلة أن تقارن ببساطة كلمة بأخرى بل
يجب أيضا أن تقوم بعدد من العمليات المعقدة الأخرى . فمثلا اذا كان

لكلمة ما عدة مترادفات في لغة أخرى ، يجب أن تنتقي الآلة الحاسبة المعنى الصحيح بحيث تدخل في اعتبارها معنى الجملة ، وبالإضافة إلى هذا يجب أن تقوم الآلة الحاسبة عند استبدال كلمات لغة ما بكلمات لغة أخرى أن ترتب الكلمات المترجمة ترتيبا صحيحا في جملة سليمة من حيث قواعد اللغة .

ولما كانت الآلة الحاسبة لا تعقل ، فانها لا تستطيع بالتالى تحليل معنى الكلمة من معنى الجملة ، اذ انها لا تستطيع الا القيام بتحليل آلى بالاستعانة بالقوانين القياسية التى وضعها الانسان أولا ثم غذيت للآلة على شكل برنامج تحليل . وكل هذا يعقد البرنامج اذ يحتوى على عدد من الأوامر أكبر بكثير من البرامج الموضوعة لحل كثير من المسائل الرياضية . ونتيجة لهذا مازالت امكانية الترجمة بالآلة الحاسبة الالكترونية محدودة جدا .

وقد تكون المناسبة الآن مواتية لذكر بعض الاحصائيات ، فمثلا تحتوى اللغة الالمانية الحديثة على حوالى ٤٠٠ ٠٠٠ كلمة ، وهذا بالطبع أكبر من مقدرة ذاكرات الآلات الحاسبة الالكترونية الحالية (١) ، ولكن لحسن الحظ تستخدم ٥٠٠٠ كلمة فقط فى تسعة اعشار الحديث ، وهذه كمية يمكن اختزانها فى ذاكرة الآلات المخصصة للترجمة . ويكفى لترجمة نص فنى باللغة الانجليزية تخزين قاموس يحتوى على ١٠٠٠ كلمة عامة و ١٠٠٠ مصطلح فنى .

وهذا يعنى أنه بالرغم من أن الوقت مازال مبكرا جدا للكلام عن ترجمة القصص ، فان ترجمة الكتابات الفنية وفقرات الانباء ٠٠٠ الخ تعتبر مشكلة الوقت الحاضر ، اذ أن ترجمة القصص ليست صعبة بسبب الحجم الهائل من الكلمات فحسب بل أيضا لأن القصص تمتلئ بتعريفات تتعلق بحياة الناس وقد لا تعنى شيئا اذا ترجمت آليا ، وفى مثل هذه الحالات لا يستطيع المترجم أن يترجم حرفيا بل يجب أن يصيغها فى عبارة تحافظ على المعنى المطلوب ، ولا شك فى أن مثل هذه الترجمة لا يمكن أن تتم آليا .

وحتى الآن مازالت الترجمة بالآلات الحاسبة الالكترونية فى مرحلة الاستكشاف ، اذ لم تتم سوى الخطوات الأولى فى هذا الاتجاه . ولم يحاول العلماء الا ترجمة نصوص فنية قصيرة . وقد تم أول بيان عملى

(١) بعد كتابة هذا الكلام ظهرت آلات حاسبة يمكن لذاكرتها أن تحتزن حتى ٨ ملايين

للترجمة من الروسية الى الانجليزية باستخدام الآلة الحاسبة الالكترونية طراز أ ب م - ٧٠١ فى نيويورك سنة ١٩٥٤ . ولم يحتو قاموس هذه الآلة على أكثر من ٢٥٠ كلمة روسية فى مجالات السياسة والقانون والرياضة والكيمياء والعلوم السياسية .٠٠٠ الخ ، ولهذا السبب كان لزاما أن تصاغ الجمل المراد ترجمتها بحيث لا تحتوى الا على الكلمات الموجودة فى القاموس . وحتى تكون الترجمة صحيحة ، وضعت ست قواعد للاعراب فى ذاكرة الآلة .

وقد جرى بيان عملى للترجمة من الانجليزية الى الروسية باستخدام الآلة طراز بى سى فى موسكو سنة ١٩٥٥ . وقد احتسوى قاموس الترجمة الأوتوماتيكية على ٩٥٢ كلمة انجليزية و ١٠٧٣ كلمة روسية وكان القصد منه ترجمة نص رياضى . وقد وجد ان الآلة لم تستطع القيام بترجمة مرضية لجمل مصاغة صياغة خاصة فحسب بل ايضا لمقتطفات كاملة من كتب فى الرياضة . كما امكنها ترجمة فقرة من انباء عن مؤتمر فى الرياضة ولكنها مرت فى هذه التجربة بكلمات ليست فى القاموس . وبالطبع لم تستطع ترجمتها فطبعتها بلغتها الأصلية .

وقد ادخل الكثير من التحسينات على عملية الترجمة الآلية . اذ تم بالفعل القيام بالترجمة من لغة الى عدة لغات أخرى فى وقت واحد . وقد ساعد على تسهيل الترجمة الى عدة لغات فى وقت واحد ، أن غالبية العمل انشاق الخاص بتحليل النص الأصلي لا يتم الا مرة واحدة تقوم الآلة بعدها بصياغة الجمل المترجمة بلغات مختلفة ، فاذا كانت صياغة جملة مترجمة قد تمت باللغة الروسية مثلا فانه يمكن استغلال نسبة لا بأس بها من العمل الذى تم باللغة الروسية فى صياغة نفس الجملة بلغات أخرى . وبهذا يمكن باستخدام اللغة الروسية كلغة رئيسية او لغة وسيطة تبسيط الترجمة الى اللغات الأخرى تبسيطا كبيرا . وتستخدم فى الترجمة الآلية من الصينية او اليابانية الرموز التلغرافية الصينية .

وهناك من الأسباب ما يجعل البعض يعتقد انه سوف تصمم فى المستقبل القريب آلات يمكنها أن تتلقى كتابا مطبوعا بأية لغة فترجمه وتطبع الترجمة بسرعة فائقة .

ويحق لنا ان نتساءل الآن عن الأسباب التى تحولونا الى ان نتصور مثل هذا التطوير فى عملية الترجمة الآلية ، بينما نرى الآلات الالكترونية الموجودة لا تستطيع الا ترجمة نصوص فنية وبسرعة منخفضة جدا ، كما لا توجد الآن الذاكرة التى يمكنها استيعاب الحجم المطلوب من المادة بحيث

تضمن في نفس الوقت العثور على الكلمة اللازمة بسرعة • فمثلا نجد ان سعة الشريط المغناطيسي هائلة ولكن سرعته منخفضة • اذ للعثور على التسجيل المطلوب على الشريط يجب ادارة عدة أمتار منه ، الأمر الذي يستغرق وقتا لا بأس به ، بينما نجد أن التسجيلات التي تتم بوساطة أتبوب أشعة المهبط عالية السرعة ولكن سعتها محدودة جدا •

وقد حلت هذه المشكلة بوساطة وسائل جديدة للتخزين صممت في معمل النماذج الالكترونية التابع لأكاديمية العلوم السوفيتية • ولا تحتوى هذه الوسائل على أجزاء متحركة يمسك الوسائل المغناطيسية الحالية ، ولهذا فهي لا تبلى ، وهذا يعني ان مثل هذه الذاكرات يمكنها ان تعمل لمدة طويلة جدا ويمكنها ان تحتزن المعلومات الى ٥٠ أو مائة عام • وفي نفس الوقت تستطيع هذه الأجهزة أن تسجل أربعة ملايين صفحة من الصفحات المعتادة أو تقرأها في ساعة واحدة • وبعبارة أخرى تستطيع الآلة ان تمر على محتويات مكتبة بها ١٠٠٠٠ مجلد ضخمة في ساعة واحدة •

وتصنع عناصر هذه الذاكرة الجديدة على شكل الواح من مادة عازلة تطبع عليها - باستخدام طلاء خاص - شبكة موصلة وعناصر حائطة او مسعوية أو مقاومة ، وتجمع مثل هذه الألواح في مجموعات وتوصل الواحدة منها بالآخرى أو بالووائر المختلفة في الآلة الحاسبة الالكترونية بموصلات عادية •

ومن أهم ما يلاحظ بالنسبة لهذه الطريقة أنها تحتاج الى مكان أصغر بكثير من الذاكرات الحالية ، كما تستهلك قدرة أقل بالنسبة لنفس الحجم من المادة المسجلة • وتخيل مكتبة تستطيع ترجمة الحديث مباشرة ، اذا ظهرت الحسابات أن بمثل هذه السرعة العالية تستطيع الآلة الحاسبة الالكترونية ان تترجم المحادثات بين عشرة ازواج من المتحدثين او اثني عشر في وقت واحد (يتحدثون بسرعة متوسطة قدرها حوالي ٢٠ حرفا في الثانية) • وفي هذه الحالة تعمل المكتبة كما لو كانت أستاذا في الشطرنج يلعب على عدة رقاع في وقت واحد ، اذ تتذكر الجمل التي ينطق بها جميع المتحدثين وترجمها بسرعة تجعل الزمن بين الجملة المنطوقة وترجمتها لا يكاد يشعر به أحد •

وتعتمد امكانية الترجمة الفورية للخطب أو المناقشات على النتائج الأولية التي تم الحصول عليها من تحليل الكلام وتصنيعه • ولهذا يجب أن تزود الآلة بوسيلة لتحليل الكلام وتحويله الى شفرة رقمية •

وقد ثبتت بالفعل امكانية صنع آلة يمكنها ان تحاكي صوت ممثل ما
او تغني بصوته اذا كان نطقه للحروف المتحركة والساكنة والمقاطع
المختلفة مسجلا من قبل . وتستطيع مثل هذه الآلة أيضا ان تقرأ كتابا
او تغني مقطوعة موسيقية من النوتة اذا زودت بجهاز لتحليل الرموز
المطبوعة .

ولكن مثل هذه الآلة التي تحلل الصوت الأدمي وتحاكيه لا تزال من
أحلام المستقبل . ولا شك في أنه سيسبقها صنع آلات مترجمة يفنى
اليها النص بالاستعانة بآلات تشبه الآلة الكاتبة الى حد ما ، وكذلك يطبع
النص المترجم بواسطة هذه الآلة .

وجدير بالذكر هنا أن هذه السرعة العالية جدا والسعة الكبيرة التي
تمتّع بها هذه الذاكرات الجديدة ستمكن من صناعة آلات خاصة لتبادل
المعلومات والاحصائيات .

ويمكن الاحساس بأهمية هذه الآلات اذا عرفنا ان عدد الكتب
والمقالات العلمية والتقارير التي تطبع سنويا يصل الى ٢٠٠٠٠٠ ، وفي
المكتبات الكبرى الآن الملايين من الكتب والمجلات ويتضاعف عددها كل
عشر سنين أو خمسة عشر . وواضح أنه بزيادة المطبوعات بهذا الشكل
تتزايد صعوبة الحصول على معلومات وافية عن أى موضوع يوما بعد
يوم .

كذلك لا يمكن للانسان أن يتصور التحكم في الصناعة بغير تحليل
لعمل الهيئات المستقلة . ويعتمد مثل هذا التحليل على التقارير السنوية
التي تحتوى أكثر من مائة مؤشر مختلف (وسائل الانتاج والتوزيع ،
الأرباح والخسائر ، استهلاك المواد الخام ، المنتجات نصف المصنعة والأجهزة
الكاملة الخ) .

ولتحليل بيانات ١٠٠٠٠٠ تقرير يحتاج مكتب الحسابات في الوقت
الحالى الى ٤٠٠ ودية عمل . وتستطيع الآلة الحاسبة الاحصائية التي
تستخدم الذاكرة الجديدة التى سبق الكلام عنها ان تقوم بهذا العمل فى
دقيقة واحدة .

الصمامات تتحكم

نظرا لاستطاعة الآلة الحاسبة الالكترونية مقارنة نتائج الحسابات
واختيار احسن الحلول ، فانه يمكن استخدامها فى التحكم والتنظيم .
وهذا قد يعنى التحكم فى مكنة تشغيل معادن أو طائرة أو صاروخ أو المرور

فى الشوارع أو اطلاق المدفعية ... الخ ، كما قد نعنى بالتنظيم ، تنظيم العمليات التكنولوجية المعقدة الخطرة على الانسان أو الضارة به ، مثل صهر الصلب والحديد والزهر أو تكرير البترول أو تنظيم العمليات الذرية والكيميائية ، وأخيرا قد نعنى التحكم فى تشغيل ورشة أو مصنع أو شبكة توزيع القدرة الكهربائية فى الدولة بأكملها ... الخ .

وطريقة عمل الآلات الحاسبة الالكترونية المستخدمة فى أجهزة التحكم هى فى أساسها نفس الطريقة التى تعمل بها الآلات الحاسبة الالكترونية التى تقوم بالحسابات ، كما أنها تزود أيضا ببرنامج يتحكم فى تشغيلها والاختلاف الوحيد هنا هو فى أن الآلات المخصصة للتحكم لا تعطى نتائجها على شكل أرقام على هيئة اشارات أمرة تتحكم فى المكونات الأخرى . وهنا تتصل الآلة الحاسبة الالكترونية بعدد من الأجهزة اتصالا مباشرا ، فأولا الأجهزة التى تراقب التغيرات الحادثة فى الشئ المراد التحكم فيه ، وثانيا آليات التشغيل التى تعيد الشئ الى الحالات المطلوبة أو تغير حالته حسب ما يتطلبه البرنامج .

وعادة تعطى أجهزة القياس التى تراقب حالة الشئ المراد التحكم فيه بياناتها على شكل قيم متغيرة باستمرار (نظائر) لا فى الصورة العددية التى « تعودت » عليها الآلات الحاسبة الرقمية . فمثلا قد تكون القيم المراد التحكم فيها هى الفلطية فى طائرة ما وسرعتها وارتفاعها ، أو درجة حرارة فرن ما والضغط بداخله ... الخ . وفى هذه الحالة تزود الآلة الحاسبة الالكترونية بأجهزة دخل خاصة تحول القيم المتناظرة الى قيم عددية . ويكرر نفس الشئ بالنسبة لأجهزة خرج آلات التحكم حيث تزود عادة بمحولات خاصة لتوصيل الآلة الحاسبة بالشئ المراد التحكم فيه .

ولكن كيف تستطيع الآلات الحاسبة الالكترونية أن تتحكم ؟ باستقبال المعلومات عن حالة الشئ المراد التحكم فيه من أجهزة القياس ، تقارن الآلة الحاسبة المتحكم بالالكترونية باستمرار بين هذه المعلومات ونتائج الحسابات التى تقوم بها على بيانات الدخل على أساس البرنامج . فإذا لم تتطابق القيمتان المقارنتان ترسل الآلة أمرا الى آلية التشغيل التى تتحكم فى الشئ .

ويجب ان نؤكد هنا انه لا يمكن استخدام الآلة الحاسبة الالكترونية فى التحكم الا اذا كان سلوك الشئ المراد التحكم فيه محكوما بقواعد محددة ، أى اذا كان يمكن التعبير عنه رياضيا وكان يمكن صياغة العمل

المنوط بالآلة فى شكل برنامج مكون من عمليات واضحة ومحددة . فمثلا لا يمكن التحكم - باستخدام الآلات الحاسبة الالكترونية - فى تلك العمليات الانتاجية المتالوجية التى لم تمكن صياغتها رياضيا . بعد .

ويمكن أن يساعد برنامج الآلة على تقدير سلوك الشئ المراد التحكم فيه فى المستقبل . ولهذا الغرض تقوم الآلة بحساب عدة نماذج من السلوك للشئ المراد التحكم فيه حسب تغير ما قد يتغير داخله وخارجه .

وعندما تحصل الآلة على نتائج هذه الحسابات المختلفة تقارنها بمعايير محددة من قبل (مثل أقل استهلاك للوقود أو نوع الانتاج) وتختار أحسن نمط . ومثل هذه الآلات تكييف نفسها حسب البيئة وحسب ما تتحكم فيه ، وهى « تتذكر » أحسن نمط للتحكم لكل حالة و « تجمع » الخبرة . وقد عرفت أجهزة التحكم هذه بأنها « تضبط نفسها » أو « تحسن نفسها » وينتظرها مستقبل رائع .

ولنذكر بعض الأمثلة لاستخدام الآلات الحاسبة الالكترونية فى أجهزة التحكم والتنظيم . فقد حققت الصناعة اقتصادا كبيرا فى النفقات باستخدام الآلات الحاسبة الالكترونية للتحكم فى مكائن قطع المعادن . وقد تمت أولى التجارب فى هذا الميدان فى الماضى القريب فى سنة ١٩٥٠ . فقد كان من الضرورى - عند صنع اجزاء ذات اشكال معقدة باستخدام مكينة نساخة - أن تصمم القطعة أولا وترسم ثم يصنع نموذج لها لتنسخه المكينة ، أما اذا استخدمت مكينة نساخة يتم التحكم فيها الكترونيا فيكفى لها برنامج حساب . وباتباع اوامر البرنامج ، تصمم الآلة الالكترونية اوتوماتيكيا القطعة بدون تدخل الانسان وتختار الأوامر اللازمة للتحكم فى أداة القطع فى المكينة النساخة وتضمن صحة تتابع مراحل التشغيل المختلفة وتقارن باستمرار بين أبعاد القطعة المصنوعة وبيانات التصميم : ويمكن ان توضع الآلة الحاسبة خارج الورشة وتتحكم فى تشغيل عشرات المكائن حسب عدد القطع المراد صناعتها .

وفى نفس ذلك الوقت أيضا بدأت أولى المحاولات لاستخدام الآلات الحاسبة الالكترونية فى قيادة الطائرات . ففي الفترة من ١٩٤٨ الى ١٩٥٢ كان أول جهاز لقيادة الطائرات باستخدام الآلة الحاسبة الالكترونية التى سميت « ديجيتاك » فى مرحلة التطوير والاختبار . وأجريت الاختبارات على طائرة نقل طارت فى دائرة مغلقة على هيئة شكل رباعى غير منتظم بسرعة ٢٥٠ كيلو مترا فى الساعة . وكانت نتائج الاختبارات باهرة ، اذ وجد أن الطائرة التى طارت اوتوماتيكيا تحت اشراف آلة الكترونية طارت ألطف وأدق بكثير مما لو قادها طيار . وقد شغلت الآلة

الحاسبة التي ركبت في الطائرة حجما قدره ٠١٦ متر مكعبا وكان وزنها ٥٩ كيلو جراما . وكانت اهم مميزاتها عموميتها . فطبقا للتعليمات الموجودة في البرنامج ، لم تقد آلة التحكم الالكترونية الطائرة في طريقها المرسوم فحسب بل كانت تحدد مكانها ايضا بصفة مستمرة (طبقا للبيانات التي تستقبلها من ثلاث محطات ملاحية أرضية) كما أنزلتها الى الأرض ٠٠٠ الخ . وكان هذا « الطيار الآلي » مجرد تجربة أولى في هذا المجال . أما الآن فهناك أجهزة الكترونية لقيادة الطائرات أحسن منه بكثير .

وفي حل مثل هذه المسألة المعقدة كقيادة طائرة ، تقوم الآلة الحاسبة في الحقيقة بنفس مجموعة العمليات المعتادة بالنسبة لها ، اذ تقارن الوحدة الحسابية باستمرار بين المكان الفعلي للطائرة - والتي تحصل عليه من أجهزة الملاحة - والبيانات الموجودة في برنامج الطيران . وتصحح الآلة الالكترونية مسار الطائرة طبقا لنتائج هذه المقارنة .

وقد أدت هذه العمومية للآلات الحاسبة الالكترونية الى فكرة استخدامها في جميع الأحوال التي يجد الانسان فيها صعوبة في معالجة كمية هائلة من البيانات . فمثلا ليس من السهل التحكم في المرور في مدينة كبيرة ، وهنا نجد أن نظاما موحدا للتحكم يكون عظيم الفائدة حينما يحصر جميع الطرق العمومية والتقاطعات ويدخل في اعتباره ظروف المرور في أماكن معينة في أوقات معينة . وقد أدى هذا الى ظهور « آلات التحكم في المرور » . ويحسب هذا النوع من الآلات الالكترونية أنسب الأوقات لتحويل اشارات المرور وذلك بعد الحصول على البيانات اللازمة عن عدد السيارات المنتظرة عند الإشارة الحمراء وبعد اعتبار زمن الانتظار والموقف في التقاطعات الأخرى . وبهذا يصبح من السهل من حيث المبدأ ، حل مشكلة أعقد من هذه ، ألا وهي التحكم في السيارات ، لا بدون شرطي المرور فحسب ، بل أيضا بدون سائق . وهناك بالفعل طريق عام تجريبي تطبيق فيه قوانين المرور المعتادة وفيه تتخطى السيارات السريعة تلك البطيئة بدون ادنى احتمال للحوادث .

ومن المفيد أيضا استخدام ما يسمى « المراقب الآلي » للتحكم في حركة الطائرات في المطارات . فعندما تتلقى الآلة البيانات الخاصة برقم الطائرة التي تستعد للهبوط وتدرس موقف الحركة في المطار يمكنها أن تضع برنامج الطيران لكل طائرة من الطائرات التي تحلق فوق المطار وترسله اليها ، وبهذه الطريقة تنظم الحركة فوق المطار .

ولكننا نجد أن أكثر النتائج التي يمكن الحصول عليها وضوحاً ، هي التي تستخدم فيها الآلات الالكترونية التي تستطيع التحكم فى مصانع كاملة او مناجم أو محطات قدرة . فان هذه المهمة أعقد بكثير بالطبع من مجرد التحكم فى مخرطة مثلاً أو منشأة تكنولوجية ، اذ لا يستطيع القيام بهذا العمل الا آلة الكترونية أعقد بكثير من سابقتها ، كما أن برنامجها يكون أكثر تعقيداً هو الآخر . وفى سنة ١٩٤٩ ، أنشئ فى الولايات المتحدة معمل تكرير بترول كان يدار بالكامل بوساطة آلة الكترونية من هذه الآلات ، وفى هذه الآلة جمعت كافة أجهزة القياس فى وحدة تحكم واحدة مزودة بإشارات ضوئية وصوتية ، فإذا تغير الضغط أو درجة الحرارة أو أى من العوامل الأخرى فى إحدى منشآت المعمل ، يضىء مصباح أو ينطلق صوت لينذر العامل الوحيد بالمعمل بالخطر . وهناك مثل آخر للمصانع الآلية ألا وهو مصنع كيميائى فى أوكلاند ينتج ٦٠ طناً من ثانى اكسيد الكربون فى اليوم ، ويعمل فى المصنع عاملان أحدهما موكل بتسليم الثلج الجاف الى المخازن .

ولا نتوقع فى هذه الحالة أن تقوم الآلات الالكترونية التي تتحكم فى المجموعات الصناعية المعقدة او محطات القدرة ، بتنفيذ ارادة الانسان. تنفيذاً « أعمى » اذ لا تحتفظ الآلات التي « تضبط نفسها » بحالة الشئ المراد التحكم فيه ثابتة فحسب بل تدخل فى اعتبارها التغير فى الظروف المحيطة وتختار أحسن الظروف و « تتعلم » أثناء عملها بحيث تستطيع من أخطائها السابقة .

وقد فتحت الآلات « المتعلمة » صفحة جديدة فى تاريخ التحكم الآلى. تصور فرناً عالياً ينتج الحديد الزهر بنفسه تماماً كما تقوم مخرطة آلية بصناعة المسامير والصامولات والقطع الأخرى بدون أى تدخل من الانسان .

قد يقول القارئ ان هذا مستحيل ، اذ تشكل المخرطة الآلية القطع المختلفة من خامات نصف مصنعة ذات أبعاد محددة من قبل ، كما انها تقوم ببعض العمليات القياسية مثل التثقيب والقلوطة وفصل القطعة المصنعة من الحامة نصف المصنعة . ومثل هذا العمل يمكن جعله أوتوماتيكياً . وتصبح وظيفة الانسان مجرد ضبط المكنة الأوتوماتيكية ومراقبة عملها ، ولكن القرن العالى شئ آخر ، اذ لا يستخرج الحديد الزهر من خامات نصف مصنعة . ولكن من شحنة معقدة تحتوى على كثير من المكونات بالإضافة الى الخام وفحم الكوك . وتختلف خواص الخليط اختلافاً بينا ، اذ تختلف رطوبته ، وكذلك لا يشبه تركيب الخام ولا المحتوى الرمادى فى فحم الكوك عند قيم واحدة ، كذلك تتغير درجة حرارة الهواء الداخلى الى الفرن وضغطه .

وليست هذه هي كل الفروق بين عملية الفرن العالى وتشغيل المخروطة ، فان العمليات التى تتم أثناء صناعة مسمار لا تختلف عن تلك التى تتم أثناء صناعة مسمار آخر بأى حال من الأحوال . ولكن تختلف كل صبة وبالذات كل دورة من بدء اشعال الفرن الى اطفائه من غيرها ، وهذا أمر حتمى بالنظر الى تعقد العملية ومدى الفروق الجوهرية فى الظروف التى تتم فيها دورة الانتاج فى الفرن العالى والتى يصعب جدا ادخالها فى الاعتبار .

وحتى الآن لم يتم سوى تحكم آلى جزئى فى عمليات الفرن العالى . ويتم التحكم فى ظروف درجة الحرارة وضغط الغاز وتركيب الشحنة .. الخ كل على حدة . ويمكن للعامل ان يضبط ظروف أجهزة التحكم حسب التغير فى سير العمليات . وبهذه الطريقة تخفف المكنات الأوتوماتيكية العبء الملقى على عاتق الانسان وتجعل عملية الصهر أكثر انتظاما وتقلل الأخطاء المحتملة فى تشغيل الفرن العالى . وبعبارة أخرى تؤدى المكنات الآلية بنجاح الواجبات التى يضبطها عليها الانسان ولكنها تعجز عن أن تتحكم تحكما كاملا فى الدورة بأكملها من بدء اشعال الفرن العالى الى إيقافه .

والسبب الرئيسى فى هذا هو ان ما يتم داخل الفرن العالى عملية معقدة جدا ولم تفهم بها ، حتى الآن . وبالمستوى العالى للتحكم الآلى ، تستطيع الآلة الحاسبة الالكترونية ان تنظم تشغيل جميع الأجهزة الأوتوماتيكية التى تتحكم فى الفرن العالى ، ولكننا لسنا على درجة كافية من المعرفة لكتابة البرنامج اللازم لتشغيلها .

وفى الحقيقة تعمل مكنات التحكم الأولى الى حد ما كرجل يتبع التعليمات التى أعطيت له . وتحتوى التعليمات على عدد من العمليات المتتابعة التى عليه أن يقوم بها . ويمكن القول بأن كلا من هذه العمليات عبارة عن رد فعل معين من العامل لأحد التغيرات التى يتعرض لها الشيء المراد التحكم فيه . وتتخذ التعليمات عادة الشكل المنطقى : « إذا حدث كذا فافعل كذا » . فمثلا اذا تراكمت كمية كافية من الحديد الزهر المنصهر فى الفرن العالى ، فان على العامل ان يفتح صنبورا معيناً ليفرغ المعدن وذلك بالاستعانة بمكنة خاصة .

ولا يستطيع جهاز التحكم الذى يحل محل الانسان أن يعمل بدون تعليمات ، ولوضع مثل هذه التعليمات يجب معرفة العملية جيدا .

ولكن يمكن للعامل الماهر أن يتحكم فى عملية لا يعرف عنها الا القليل بدرجة عالية من المهارة بدون أية تعليمات ، اعتمادا على خبرته

السابقة • وفي بعض الأحيان لا يتبع العامل التعليمات حرفياً حتى إذا كانت لديه تعليمات واضحة ، بل يقوم ببعض التصحيحات أثناء العملية حسب ما تقتضيه الظروف • ويمكن للعامل الماهر ان يجدد في التعليمات بحيث يؤقلمها مع التغيرات التي قد تحدث في الشيء المراد التحكم فيه •

وقد وجده ان الآلة الحاسبة يمكنها أيضاً ان تؤقلم نفسها مع التغيرات التي قد تحدث في الشيء المراد التحكم فيه والظروف المحيطة به • وتوضع لهذا الغرض تعليمات خاصة للآلة تمكن من ادخال تال التغيرات الممكنة في الاعتبار • وبعد هذا تقوم الآلة بتحليل المعلومات التي تتلقاها أثناء العملية والتغيرات التي قد تطرأ على ظروفها ثم تقدر أهميتها من وجهة نظر بعض المعايير المحددة من قبل (مثل أقل استهلاك للوقود أو نوع الانتاج) ثم تختار أحسن نمط للتحكم • وأكثر من هذا ، إذا حدثت بعض التغيرات في عملية التحكم وكانت قد حدثت من قبل ، « تتذكر » الآلة ما فعلته في الحالات المشابهة لأن لها « ذاكرة » وتغير سلوكها على أساس الخبرة السابقة ، كما يمكنها ان تحسب حساب التغيرات التي قد تحدث في المستقبل وتتنبأ بما ستقوم به عند حدوثها •

ولما كانت الآلة « تتذكر » جميع أعمالها وأخطائها السابقة وما قامت به بنجاح ، فإننا نجد ان هناك تعليمات جديدة تظهر بالتدريج في ذاكرتها ، هذه التعليمات قد وضعتها الآلة لنفسها •

وأكثر من هذا ، يمكن للآلة ان تحاكي خبرة الانسان • وقد تمت بالفعل تجربة وصلت فيها آلة حاسبة جهزت للتحكم في احدى عمليات الفرن العالي وزودت بتعليمات (برنامج) أولية بفرن كان يقوم على ادارته مجموعة من العمال المهرة • وفي أثناء فترة التمرين وصلت أجهزة القياس فقط بالآلة الحاسبة بينما فصلت الأعضاء التي تتحكم في العملية عنها وتولى أمرها العمال •

وبوساطة برنامجها وقراءات الأجهزة ، قامت الآلة بحساب بعض الاوامر لأعضاء التحكم في الفرن ونفذتها ، ولكن الآلة لم تكن تتحكم في العملية بالفعل بل كانت تقارن أوضاع أجهزة التحكم التي حسبتها بتلك التي ضبطها العمال فقط • فإذا حدث اختلاف بين الوضعين تدخل الآلة أوتوماتيكياً بالتغيرات اللازمة في برنامج الحساب • وبعد ثلاثة أشهر من هذا « التمرين » وصلت الآلة بأعضاء التحكم وقامت بتشغيل الفرن العالي بالكامل بنفس درجة مهارة الفريق الذي قام بتعليمها •

وهنا يجب لنا ان نتساءل : في أي الحالات يمكن استخدام مثل هذه

الآلات المتحكمـة « المدربة » ؟ • والاجابة : فى جميع الحالات التى يجب فيها تصحيح برنامج التحكم على أساس النتائج الأولية •

ومن الأمثلة الجيدة هنا حالة مكثات الدلفنة على الساخن ، حيث تساعد أولى الكتل المدلفنة على ضبط الآلات والمكثات بدقة أكثر •

أما فى انتاج القطع المصنوعة من سبائك صلدة فقد جرت العادة على صنع كمية تجريبية أولا • وبعد تحليل مستواها يمكن للآلات ذاتية التعليم ان تحدد أحسن الظروف لتشغيل باقى القطع •

وسيكون لمثل هذه الآلات أهمية كبرى عندما تتحكم فى مصانع كاملة ، اذ تساعد على زيادة الانتاجية بتلخيصها لكل الخبرات المتاحة •

السيبرنيات

تذكرنا آلات التحكم الالكترونية التى كنا نتكلم عنها بالمخلوقات الحية التى يمكنها ان تتأقلم مع التغيرات التى تحدث فى الظروف المحيطة بها • ومن المعروف أن للكائنات الحية عددا من المنظمات الأوتوماتيكية المعقدة التى تحتفظ بدرجة حرارة الجسم وضغط الدم وباقى العوامل ثابتة • وبعبارة أخرى تخضع الظروف الفيزيائية للكائن الحى ووظائفه للتحكم •

ويمكن استخدام أساس تشغيل المنظمات فى الكائنات الحية كنموذج لتصميم آلات التحكم الأوتوماتيكية • وجدير بالذكر هنا أن الانسان فى تصميمه لأولى أجهزته الأوتوماتيكية ، كان يحاول تقليد أبسط الوظائف التى يقوم بها هو نفسه • فلا عجب اذا كانت الهندسة كثيرا ما تستخدم نفس أساسيات التحكم الموجودة فى الكائنات الحية • وقد لاحظ هذا العالم الفيسيولوجى الروسى سيشينوف الذى كتب انه وجد شيها كبيرا بين أساسيات عمل المكثات ذاتية التنظيم وتلك الخاصة بالكائنات الأدمية • فقد قام مثلا بالمقارنة بين بعض الأفعال الانعكاسية للجسم وعمل الحاكم فى آلة وات البخارية ووجدت سمات مشتركة فى أساس عملهما •

وقد قاده هذا الى دراسة أساسيات التحكم الآلى فى المكثات والكائنات الحية دراسة مشتركة • ثم جاء العالم الفرنسى امير الذى تنبأ بظهور علم التحكم الذى لم يكن قد ظهر بعد ووضع صيفا لمساائل بطريقة تشبه

تلك التي رتب بها مندلييف خواص العناصر الكيميائية التي لم تكن قد اكتشفت حتى عصره . وسمى أمير ذلك العلم السيبرنيات . وقد استخدم العالم المعاصر نوربرت فينر - أحد مؤسسي العلم الجديد - ذلك الاسم القديم . وإذا بحثنا عن العامل الذي أوجد الدافع لنمو وتطور السيبرنيات الذي يعتبر من أهم علوم عصرنا لوجدنا أنه انصمامات الالكترونية . أو بمعنى أصح الآلات الحاسبة الالكترونية . فقد اكتسب علم السيبرنيات أسلحة بحث قوية على شكل آلات حاسبة الكترونية . إذ تقوم الآلات الحاسبة الالكترونية بعدد من الوظائف التي كانت تعتبر حتى الآن من مميزات العقل البشري . ففي وصف عمل مثل هذه الآلات لا يستطيع الانسان تجنب استخدام تعبيرات مثل « الآلة تحسب » أو « تترجم » أو « تحلل » أو « تتذكر » أو « لغة الآلة » . الخ وهي الألفاظ التي كانت تطلق على الانسان فقط . وقد أكلت هذه الحقيقة مرة أخرى ان عمل الآلات الحاسبة الالكترونية الحديثة له أوجه شبه كبيرة بالنشاط العقلي للانسان .

وفي أثناء تطور الآلات الالكترونية الحديثة ، لوحظ ان أساس عملها يشبه من نواح كثيرة أساس عمل الجهاز العصبي والمخ في الانسان والحيوان . والمخ والجهاز العصبي عضوان معقدان يتحكمان في الكائنات الحية . ومن صفات الأعصاب انها إما أن تستجيب لمنبه خارجي أو لا تستجيب وليست لها حالة ثالثة . وينتقل المنبه السمي أو البصري أو أي منه آخر بواسطة الخلايا العصبية الى قطاع خاص في المخ . ويستجيب هذا القطاع للمنبه بإرسال أمر الى العضو المناسب بحيث يجعله يستجيب له . ولا ينتقل المنبه بطريقة مستمرة ولكن على شكل دفعات من النبضات العصبية . ويمكن القول بأن تيارا كاملا من نبضات الاحساس يسير خلال الخلايا العصبية الى المخ ، وان تيارا عائدا من نبضات التحكم يسير من المخ الى الأعضاء المختلفة .

وقد كانت عملية التحكم في الكائنات الحية هذه موضع بحث منذ زمن طويل ، وقد حاول الفيسيولوجيون منذ مائة عام تصميم نموذج للجهاز العصبي ، آدمي لمساعدتهم في دراسة عملية نقل النبضات العصبية . ولكن لم تكن النماذج الأولى كاملة ولم تساعد الا في دراسة تقريبية لهذه العملية المعقدة .

الا ان ظهور الآلات الحاسبة الالكترونية أحدث ثورة في هذا المجال ، إذ وجد ان هذه الآلات تصلح لأن تكون نماذج رائعة لدراسة النواحي المختلفة للنشاط النفسي والعصبي للانسان . فمثلا عندما صممت

آلة لقراءة النصوص بصوت عال للعميان ، وجد ان أساس عملها يشبه كثيرا عمليات تكوين الوصلات فى القطاعات الخاصة بالتحكم فى الاستقبال البصرى من قشرة المخ .

ويشتمل عمل الآلة الكاتبة الالكترونية من حيث نقل المعلومات على نفس الأسس التى يقوم عليها الجهاز العصبى للكائنات الحية . وتشبه الدوائر النطاطة فى الآلات الحاسبة الالكترونية التى سبق ان تناولناها بالشرح الخلايا العصبية من حيث انها لا تكون الا فى احدى حالتين : اما ناقلة للنبضة أو غير ناقلة لها . فاذا تلقت الآلة معلومات على شكل مجموعة من النبضات الكهربائية ، تنتقل هذه النبضات فى القنوات المناسبة فى الآلة بطريقة تشبه تلك التى تنتقل بها النبضات العصبية فى الألياف العصبية فى الكائن الحى حاملة تيارا من المعلومات عن منه معين .

ولتلك الوظيفة الهامة من وظائف الجهاز العصبى ، وهى الذاكرة . سببها فى الآلات الحاسبة الالكترونية ، وطبقا للبرامج المخزنة فى ذاكرة الآلة ونوع نبضات التحكم التى يرسلها جهاز التحكم . ويعتبر « المخ » بالنسبة للآلة الحاسبة الالكترونية - بمثابة العضو الذى يمكنها من أن تلعب الشطرنج أو تتحكم فى مصنع أو تحل مسائل رياضية .

وبهذا نرى ان العمليات التى تتم داخل الآلة الحاسبة الالكترونية الحديثة تشبه فى كثير من النواحي تلك التى تتم فى المخ البشرى ، وبالطبع تكون العمليات التى تتم داخل المخ أكثر تعقيدا بكثير . وكما قال أحد العلماء فان الجهاز العصبى آلة فائقة التعقيد ، أعقد عشرة ملايين مرة على الأقل من أية آلة اصطناعية معروفة . وبالتالى فان عملها أكثر تنظيما وتعقيدا ، ومن ثم فان مشكلة فهم النشاط العصبى للحيوان أعمق بكثير من فهم عمل الآلة الحاسبة الالكترونية .

ولهذا لا يصح اطلاقا تعريف الآلات بالقياس بتلك التى صنعت لتفسرها ، كما يجب أن يوضع فى الاعتبار دائما ان جميع النظريات التى تحاول تفسير النشاط العصبى بمقارنته بالآلات الحاسبة هى فى جوهرها تقريب للموضوع ، اذ أن هذه العمليات متشابهة من بعيد . ولكن قد يكون للأبحاث الخاصة بعمل الآلات الحاسبة الالكترونية أهمية فى اكتشاف القوانين التى يعمل بمقتضاها المخ والجهاز العصبى فى الكائنات الحية .

وبدراسة القوانين المسيطرة على الكائنات الحية - بالاستعانة

بالنماذج الالكترونية -- قد يتمكن الانسان من التغلب على كثير من الاضطرابات التي تحدث في أجهزة التحكم فيه . وقد تسبب الاضطرابات في أجهزة التحكم الحية (أى المخ والجهاز العصبى) اضطرابات وظيفية مختلفة . فمثلا هناك حالات يفقد فيها البعض المقدرة على تنظيم حركاتهم ، فإذا فهمنا آلية هذه الظاهرة قد يمكن العثور على وسيلة لمكافحتها .

وقد كانت أولى التجارب التي تمت في هذا المجال لدراسة عمل الرتتين والغدة الدرقية بالاستعانة بنماذج الكترونية (نظائر) . وقد تم بالفعل تصميم جهاز الكترونى يحاكي عمل القلب والدورة الدموية . ويمكن لهذا الجهاز ان يرسم المنحنيات (رسام القلب) الخاصة بعمل جزء ساييم أو تالف . فإذا ما انطبق رسم القلب الفعلى لمريض على واحد من المنحنيات التى يرسمها النموذج الالكترونى ، فإن هذا قد يساعد الطبيب فى تشخيصه أو يؤكد تشخيصه الذى قام به بالفعل عن مرض القلب .

ويمكن استخدام طريقة مشابهة فى تحديد طبيعة الاضطرابات العصبية والنفسية ، فبالمقارنة بين رسم المخ لمريض والمنحنيات التى ترسمها آلة حاسبة بالقياس يمكن دراسة الانحرافات غير العادية فى عمل المخ . كما أن هناك من الأسباب ما يدعو الى الاعتقاد بأن النظرية العامة للتحكم والسيبرنيات يمكن أن تحل مسائل الوراثة والتناسل كما تساعد على استكشاف تلك العملية الجوهرية وهى التفكير الأدمى .

وقد يحق لنا الآن ان نذكر نماذج خاصة تصور تطوير الانعكاسات المشروطة وعملية تدرب الحيوانات . فمن المعروف ان بافلوف طور الانعكاسات المشروطة فى الحيوانات عن طريق التكرار المنتظم لنفسه ، الدرس ، مثل تغذية كلب بعد دق جرس ، فبعد مدة كانت العصارة ألعدية تظهر فى معدة الكلب بمجرد دق الجرس كما لو كان يأكل .

ولقد صمم العلماء حديثا نموذجا الكترونيا سمي « السلحفاة » . وتستطيع هذه « السلحفاة » أن تتحرك فى خط مستقيم وتدير وتستجيب للضوء والصوت . ووظيفتها الرئيسية أن تبحث عن الضوء وتتحرك صوب مصدره . فإذا واجهتها عقبة ، تتراجع وتلور دورة حادة ثم تستمر فى جريتها الى الأمام . ويمكن اعتبار تجنب هذه السلحفاة للعقبات نوعا من الانعكاس المشروط . فإذا صاحب كل اصطدام يعقبه صدور صوت سجلت ذاكرة خاصة حدوث هذين الفعلين فى وقت واحد . وبعد إعادة هذه التجربة عدة مرات تكتسب السلحفاة خاصية الانعكاس المشروط ؛ إذ

تقوم بعملية إختتاب العقبات بمجرد « سماع » الصوت حتى قبل الاصطدام بالعقبة • فإذا كفت عن هذه التجربة لمدة طويلة « تنسى » السلحفاة الدرس ، تماما كما يحدث مع الحيوان عندما « ينسى » العادة المكتسبة بمضى الوقت اذا لم يدرّب •

ويحاكى نموذج يدعى « فار » شانون - على اسم العالم الأمريكى الذى طوره - عملية التعليم • وقد صنع هذا النموذج على شكل فار يسير فى متاهة الى قطعة من الدهن (مصنوعة من الحديد) موضوعة فى احدى خلايا المتاهة •

وفى البداية لا يجد « الفار » أقصر طريق الى « الدهن » من أول مرة بل يتعثر فى طرقات المتاهة • فإذا قطعت دائرة الجهاز ثم أعيدت ثانية يحدث أمر « عجيب » اذ يأخذ « الفار » أقصر الطرق الى « الدهن » بدون اضاءة أى وقت • ويكون أول انطباع أن « الفار » قد تذكر الطريق ، أى انه قد « تعلم » • وهذا فى الواقع هو ما حدث بانضبط ، اذ زود الجهاز بذاكرة تخزن لمدة من الزمن أقصر الطرق الذى وجدها الفار الى « الدهن » • فإذا تكررت التجربة عددا كافيا من المرات ، يتذكر « الفار » الطريق ، أما اذا لم تتكرر لزمن طويل ، فإنه ينساه •

و « السلحفاة » و « الفار » هما أبسط النماذج التى يمكن ان تساعد على توضيح عملية التعليم وتطوير الانعكاسات المشروطة فى الحيوانات • ويمكن اجراء تجارب مشابهة أو حتى أكثر تعقيدا بالاستعانة بالآلات الحاسبة الالكترونية العامة • وقد وضعت عدة برامج خاصة لهذا الغرض ، وقد أتاحت هذه البرامج امكانيات واسعة لمحاكاة العمليات المختلفة التى تحدث فى الكائنات الحية •

هذه هى الموضوعات التى يواجهها علم السيبرنيات فى مبادئ وظائف الأعضاء والطب • ولا تقل الموضوعات الهندسية التى يواجهها عن تلك فى التعقيد •

فان « الفار » و « السلحفاة » وباقى الأجهزة المشابهة لا تعمل كنماذج لدراسة تطور الانعكاسات المشروطة وعمليات التعليم فحسب بل يمكن ان تستخدم كطراز مبدئى لأجهزة أوتوماتيكية جديدة محسنة • فمثلا يمكن استخدام الأجهزة ذاتية الحركة مثل « السلحفاة » فى المستقبل فى استكشاف قاع المحيط أو أسطح الكواكب حيث تنقل الى هناك بواسطة سفن الفضاء أو فى القيادة الآلية للسيارات ، وهكذا •

وكذلك يمكن للأجهزة المشابهة - التي يمكنها ان تبحث وتذكر - ان تستعمل كطرز مبدئية لتطوير أجهزة التحكم الآلية التي قد تستطيع القيام بعملية هبوط الطائرات في المطارات بعد أن تدخل في اعتبارها طبيعة الحمولة في الطائرة واستهلاك الوقود في الأنواع المختلفة من الطائرات الخ .

كما يمكن ان تستخدم الأجهزة مثل « الفار » - مثلا - كنماذج لتطوير سنترالات تليفونية أوتوماتيكية حديثة تصمم حسب أسس تختلف تماما عن تلك المستخدمة حاليا .

اذ بالرغم من كل ما بذل للوصول بالسنترالات التليفونية الأوتوماتيكية الحالية الى درجة الكمال ، فإنها ما زالت لا تخلو من عيوب ، اذ يضيع وقت لا بأس به في طلب أى رقم حتى انه اضطر الى تحديد أرقام الطوارئ والخدمات الخاصة برقمين فقط . وقد يكون هناك أقل من مائة رقم تليفون في مفكرتك ، ولكن من هذه لا تحتاج بانتظام الا عشرة أو عشرين هي أرقام أصدقائك المقربين أو تلك التي لها علاقة بعملك ، وهذا هو الحال بالنسبة لأى شخص آخر .

ولكن ، اليس من الممكن تصميم سنترال يدخل في اعتباره العدد المحدود من المكالمات التي يؤديها كل مشترك ويوصله بهذه الأرقام بالاستعانة ببرنامج قصير ؟ تصور كم من الوقت والمجهود يمكن ان يوفر ، كما انه قد يكون من المحتمل ان يستخدم مثل هذا السنترال معدات أبسط من تلك المستخدمة في السنترالات الحالية .

ولنفترض الآن أن « الدهن » هو الرقم الذى يطلبه المشترك وأن حركات « الفار » هي البحث الآلى عن هذا الرقم . فبدراسة « عادات » الفار الاصطناعى يمكن تصميم نوع جديد من السنترالات التي « يمكن تدريبها » « لتتذكر » أقصر الطرق الى الأرقام التي يتكرر طلبها كثيرا بحيث يوصلها بالمشترك أسرع من المرة الأولى .

ويمكن ببساطة تصور كيفية تطبيق نفس الفكرة لوضع قوائم استعارة أوتوماتيكية للمكتبات . وبالنسبة لهذا الأوتوماتون يكون « الدهن » هو الأماكن التي بها المجموعات الرئيسية للبطاقات التي تحتوى على الفروع المختلفة من العلم والهندسة والفنون . . . الخ ، وتنقسم الأقسام الكبيرة الى أقسام أصغر وتنقسم هذه بدورها الى أقسام أصغر وهكذا مكونة متاهة . وكما كان الحال في النموذج الأصلى يهور البحث خلالها عن الكتاب المطلوب .

وعند تلقي طلب لأحد الكتب ، يبدأ « فار » قائمة الاستعارة في البحث في جميع خلايا ذاكرته حتى يجد « المدفن » ، أى القسم المطلوب ثم يعطى البيانات المطلوبة .

وفي نفس الوقت يتذكر الأوتوماتون ما طلب منه ، فإذا تكرّر نفس الطلب كثيرا ، يبدأ فى البحث عنه طبقا لبرنامج مختصر بحيث يعطى البيانات المطلوبة بأسرع من المرة الأولى .

ويمكن استخدام نفس الفكرة فى تصميم أوتوماتون يمكنه التحكم فى مجموعة كبيرة من العمليات التكنولوجية ، ومجموعات مختلفة من المكائن والآليات بحيث يمكنه الاستفادة من الخبرة السابقة .

ويعتقد العلماء انه من الممكن تصميم أوتوماتونات « منطقية » على أسس من التقنيات الهندسية البسيطة . وقد نفذت هذه الفكرة بالفعل فى جهاز صمم فى معهد الأوتوماتيات والتليميكانيات التابع لأكاديمية العلوم السوفيتية .

وهناك مجال آخر لاستخدام مثل هذه الآلات . تذكر صعوبة الاتصال بمكتب الاستعلامات فى أية محطة من محطات موسكو . كلما طلبت الرقم وجدته مشغولا معظم الوقت ، ولا عجب لأن هناك دائما عددا كبيرا من الناس يحاول طلب مكتب الاستعلامات فى نفس الوقت .

وقد ابتكر نوع جديد من الدوائر الكهربائية سيمكن الستتال من توصيل المكالمات الواحدة بعد الأخرى بترتيب-طلبها . فإذا طلبت الرقم فانتظر بصبر الى ان يأتى دورك . وبهذا يمكن للأوتوماتون ان يسمح بتوصيل أى عدد من المكالمات كل فى دورها . وبالإضافة الى هذا يمكن استخدام الدائرة الجديدة لتوزيع الحمل بانتظام على المعدات المختلفة كما فى المصاعد الموجودة فى الأبنية المرتفعة مثلا . اذ عادة ما ترتب مثل هذه المصاعد فى « منور » واحد ولكن غالبا ما يستغنى ذلك القريب من باب الدخول أو الخروج أكثر من غيره ، ونتيجة لهذا تبلى المصاعد بسرعات مختلفة .

وتزيل هذه الدائرة الجديدة - التى يمكن استخدامها فى مجالات مختلفة اختلافا كبيرا - هذا العيب . وهى من الأجهزة ذات التحسين الذاتى التى تتحكم فى العمليات بدون تدخل من الانسان .

وعند الحاجة ، يمكن ان تستوعب الأجهزة ذاتية التحسين ، لا الدوال الأساسية التى اختارها المصمم فحسب ، بل أيضا عددا من الخصائص

الأخرى فى أى وقت • وهذا هو السبب فى اتساع ميادين استخدامها •
فمثلا عند تنظيم مرور القطارات عند تقاطع السكك الحديدية ، يمكن ان يستوعب الجهاز بالإضافة الى وقت وصول القطارات طبيعة الشحنة أيضا بحيث يسمح بمرور الشحنات سريعة العطب أو العاجلة أولا • وبهذا يمكن رفع كفاءة استخدام مركبات السكك الحديدية والاسراع فى تسليم الشحنات الهامة ، وتبسيط عمل رجال التشغيلات ومنظمى سير القطارات أما اذا استخدمت مثل هذه الآلة الأوتوماتيكية فى فرز الخطابات فى مكاتب البريد ، فانها لا تدخل فى اعتبارها جداول سير قطارات البريد والطائرات وكمية البريد المراد ارسالها الى الجهات المختلفة ، بل أيضا درجات أهمية البريد •

وباختصار ، فللأجهزة التى ذكرناها بعض الخواص التى لا توجد الا فى المخلوقات الحية •

وسنتكلم الآن عن ناحية أخرى من نواحي الميكنة السيبرنية التى يمكن تنفيذها بالوسائل الالكترونية •

يمكن معالجة جميع مشاكل الاحتفاظ بسرعة محرك ما ثابتة مع تغير الحمل أو سرعة طائرة ما ثابتة مع تغير ظروف الطيران أو ضغط ثابت أو منبع هواء أو فلطية أو تيار كهربائى ثابت باستخدام أجهزة التحكم الأوتوماتيكي الحديثة • وهذه الأجهزة تحتفظ دائما بقيمة ثابتة للمتغير المراد التحكم فيه وذلك بضبطها عليه ، كما يمكن أن تغيرها حسب برنامج محدد يضبط عليه الجهاز أيضا • ولكن هذا البرنامج لا يكون دائما هو الأحسن ، فمثلا من المستحيل نظريا ان تدخل هذه الأجهزة فى اعتبارها - عند التحكم فى آلة احتراق داخل - تأثير درجة الحرارة المحيطة والضغط الجوى وترسيب الكربون على جدران غرفة الاحتراق وتآكل الأجزاء المختلفة فى الآلة على ظروف تشغيلها • فماذا يمكننا ان نعمل فى هذه الحالة ؟ •

خطرت للعلماء فكرة : الا يمكننا ان نجعل جهاز التحكم يضبط نفسه باستمرار على أنسب الظروف للتشغيل ويبحث عن هذه الظروف المناسبة لكل عملية ؟ •

فى الحقيقة يفضل جدا تركيب مثل هذا المنظم فى قاطرة تعمل بالديزل مثلا ، اذ ان ظروف تشغيل محركها تتغير دائما ، فتختلف طبيعة الأرض صعودا وهبوطا ، كما ينتهى النهار بحرارته ليحل محله الليل ببرودته • ومما يؤثر أيضا على عمل المحرك - بل وهو أكثر

اهمية - ان نوع الوقود ليس ثابتا دائما * ولهذا فانه من الصعب على سائق القطار المحافظة على احسن الظروف للتشغيل ، ونسئ بها أقصى كفاية للمحرك والاحتفاظ بها مهما تغيرت الظروف * وهنا يكون الجهاز الآلى الذى يمكنه البحث عن احسن الظروف للتشغيل والمحافظة عليها مما لا يقدر بهال *

مثل هذا المنظم يؤقلم نفسه مع التغيرات التى تحدث فى ظروف التشغيل الداخلية والخارجية « مثل الانسان » *

وهنا نتساءل : ما الذى يقوم به الانسان للتحكم فى العمليات الدائمة التغير فى القاطرة المسيرة بالديزل مثلا ؟ *

يستطيع السائق أن يعادل تأثيرات الظروف المحيطة المختلفة على تشغيل المحرك بتغيير كميات الوقود والهواء الداخلين للمحرك ، أى بتغيير تركيب خليط الاشتعال *

فيلاحظ السائق العداد الذى يبين الكفاية ، وبمجرد ان تبدأ قراءة العداد فى الهبوط ، يحاول معادلة هذا الهبوط بتغيير كمية الهواء الداخلى للمحرك وذلك بضبط الصمام الخائق الذى يتحكم فيه *

فاذا استمرت الكفاية فى الانخفاض يحاول زيادتها بتحريك الصمام الخائق فى الاتجاه المضاد حتى تبدأ فى الزيادة ، ولكن الى أى حد يستمر فى ادارة الصمام ؟ * واضح انه يستمر فى ذلك حتى تصل الكفاية الى نهايتها العظمى ثم تبدأ فى الهبوط ثانية * وهذا يعنى انه قد يتجاوز القيمة العظمى للكفاية فيعود الى ادارة الصمام الخائق فى الاتجاه المضاد قليلا ليضبطه على احسن وضع ، وتكرر هذه العملية عدة مرات حتى يتأكد السائق من انه قد ضبط المحرك على أقصى كفاية *

وبين حين وآخر يعيد السائق بحثه عن احسن كفاية نظرا لأن قيمتها تتغير بضى الوقت ، ويتطلب هذا البحث دراية وخبرة *

ولكن حتى مع وجود الدراية والخبرة ، فان عملية الضبط اليدوية بطيئة جدا * وفى العمليات المعقدة أو السريعة لا يستطيع العامل ان يقوم بعملية الضبط بطريقة مرضية مهما كانت خبرته *

اذن ، هل يمكن ان نعهد بهذه العمليات الى آلة ؟ بالطبع ، بل انه قد صمم بالفعل جهاز تحكم جديد يحتوى على آلية تستجيب للاتجاه ، أو للاحاساس بالتغير فى أية قيمة * وفى الحقيقة كان يطلق على أحد

الأجهزة التى تتبع التغير فى الكفاية فى أول جهاز تحكم باحث اسم
« مرحل الاحساس » .

وليس من الضرورى أن يعثر جهاز التحكم الباحث على أكبر قيمة
للدالة المراد التحكم فيها ، بل يراد أحيانا أن يعثر على أقل قيمة مثل
أقل استهلاك للوقود لسرعة معينة مثلا . ويسمى العلماء البحث عن
أنسب قيمة سواء كانت الصغرى أم العظمى « بالبحث الأقصى » كما
تسمى أجهزة التحكم من هذا النوع « أجهزة التحكم الأقصى » .

وكما كانت « السلحفاة » تبحث عن الضوء و « الفأر » عن أقصر
طريق ، تبحث أجهزة التحكم الأقصى عن أنسب قيمة للدالة المراد التحكم
فيها ، ويمكن استخدامها للاحتفاظ بمعدل استهلاك الوقود الذى يجعل
مرجلا بخاريا يعمل فى أحسن الظروف اقتصادا ، أو للعثور على أنسب
سرعة لطيران طائرة ، أو لتحديد الظروف المثلى لعملية كيميائية أو لضبط
حفارات البترول للحصول على أعلى كفاية فى الحفر ولكثير من الأغراض
الأخرى .

وتعتبر أجهزة التحكم الأقصى واحدة من أكثر الاتجاهات تقدمية
فى التطور الصناعى الفنى . وهى - مثلها فى ذلك مثل باقى أجهزة
الضبط الذاتى والأجهزة « القابلة للتدريب » والأجهزة القادرة على
الاختيار - من أولى نتائج التطبيق العملى لأساسيات السيبرنيات ، وهى
تقلد الى حد ما وظائف العقل البشرى من حيث مقدرتها على الاختيار .
ولكن حتى المكنات المزودة بأكثر الأجهزة اتقاناً لا تستطيع بأى حال
أن تفكر تفكيراً خلاقاً جديداً . ومهما وصلت الى الكمال فإنها ما زالت
مكنات صنعها الانسان .

★ ★ ★

منذ زمن طويل ، دأب الانسان على استخدام مصادر اصطناعية
للقدرة التى تزيد كثيرا على قدرة عضلاته . وقد يسيطر الآن على قوى
جبارة ، بينما لا تستطيع عضلاته ان تؤدى عملا يتطلب قدرة أكبر من
عشر الحصان .

والسؤال الآن : هل يمكن صنع مكنات لها قدرة « ذهنية » تزيد
على قدرة المخ البشرى بنفس الدرجة ؟ آلات يمكنها أن تحل مسائل
تفوق الذكاء الأدمى ؟

ان الحاجة لهذه المكنات قائمة بالتأكيد ، لأن المقدرات الذهنية للانسان محدودة مثل قوة عضلاته .

فاذا توصل الانسان فى احدى مراحل تطوره الى كيفية الحصول على قدرة اضافية بالاستعانة بالمكنات التى يمكن ان ننظر اليها كمكبرات « قدرة » ألا يستطيع اذن فى مرحلة أخرى من مراحل تقدمه أن يحمل على عاتقه مهمة صنع « مكبرات للمقدرة الذهنية » ؟ ويكون الغرض من مثل هذا المكبر زيادة المقدرة الآدمية على التفكير زيادة كبيرة ؟

قد يعترض البعض بأن مقدرة المكنة فى هذه الحالة يجب ان تزيد على مقدرة مصممها ، ولكن مهندسى العصور الوسطى كانوا يرون أنه لا يمكن لمكنة يسيرها الانسان أن تؤدي عملا أكثر مما يدخله اليها العامل . أو بمعنى آخر لا يمكن لمكنة أن تكبر المقدرة الآدمية . وقد كانوا على حق ، اذ أنهم لم يعرفوا الا أبسط الآليات مثل الروافع والبكر والعجلات المسننة ... الخ التى يمكنها أن تزيد من قوة الانسان ولكنها لا تتجاوز قدرته .

ولكن سرعان ما أثبت اخضاع البخار ثم استخدام القدرة الكهربائية بالذات ان مهندسى العصور الوسطى كانوا مخطئين . حقا لا يبذل الانسان شغلا كثيرا عندما يقذف الفحم فى الفرن ، ولكن عندما يحترق الفحم ، تنطلق منه القدرة الكامنة فيه وهى تزيد كثيرا على تلك التى بذلها الوقود .

وكذلك مكنات الحفر المتحركة ومكنات النقل الآلية وباقي المكنات التى صنعها الانسان وسيطر عليها - كلها تكبر من قدرة عضلاته عددا ضخما من المرات .

وقد تجاوزت الآلات الحاسبة الالكترونية بالفعل مقدرة الانسان فى مجال المجهود ذهنى تجاوزا كبيرا ، وقد ساعدت بالفعل على حل كثير من المسائل كانت تعتبر سابقا غير قابلة للحل بسبب تعقيدها وضخامة العمليات الرياضية اللازمة لها .

وكذلك غالبا ما تستجيب أجهزة الطيار الآلى للتغيرات المفاجئة فى ظروف الطيران بأسرع مما يستطيع الطيار الآدمى .

وكذلك يمكن ذكر أمثلة أخرى من المكنات المشابهة التى يمكن تحقيقها فى المستقبل ، مثل مكنات الفهرسة أو المراجع التى يمكنها اخزان كميات هائلة من المعلومات فى ذاكرتها ثم ائتقاء الفقرات المطلوبة بسرعة لا يستطيعها الانسان .

من هذا نرى انه حتى فى عصرنا الحاضر ، تمكن الانسان بالفعل من تصميم عدد من المكنات التى يمكن اعتبارها الى حد ما « مكبرات للمقدرة الذهنية » .

الالكترونيات والصناعة والاقتصاد القومى

سنتناول فى هذا الفصل استخدام العلوم الالكترونية فى الصناعة والاقتصاد القومى .

يعتبر الصمام الالكترونى أساس المعدات اللاسلكية والالكترونية المستخدمة فى الصناعة . كما تستخدم كثير من الأجهزة أيضا الخلايا الضوئية الكهربائية وأنبيب أشعة الكاثود . وتحتوى جميع تلك الأجهزة على نفس الأجزاء والمكونات وحتى المجموعات الكاملة التى درسناها عندما تناولنا أجهزة الارسل والاستقبال اللاسلكية .

وسنحاول - بذكر بعض الأمثلة - بيان كيف أدى استخدام الصمامات الالكترونية وتقنيات اللاسلكى وأجهزته الى ثورة فنية فى كثير من فروع الصناعة .

حلم يتحقق

منذ أجيال كثيرة ، كان الانسان يحلم بأداة معدنية تكون فى غاية الصلادة ، كما تكون فى نفس الوقت قادرة على تحمل الصدمات والضربات . ولم تكن صناعة مثل هذه الأداة بالأمر الهين .

وقد وجد فى كثير من الحالات ، أنه على الرغم من امكان صناعة منتجات صلبة جدا من الصلب ، إلا أنها كانت قصفة ، سرعان ما تتشقق تحت تأثير الضربات التى لا يخلو منها أى عمل . فإذا لم تصنع الأداة صلبة فإنها تتحمل الضربات جيدا ولكنها تكون لينة بدرجة لا تصلح معها لتكون أداة قطع .

وعلى الرغم من جميع المحاولات التى بذلت خلال الألف عام الماضية ، لم يمكن حتى وقت قريب صناعة أداة تجمع بين الصلادة الشديدة والقابلية لتحمل الطرق .

اذ أنه اذا أريد الحصول على خواص قطع جيدة لأداة قطع مثلا ، يجب أن يكون حدها القاطع صلبا ، أو بعبارة أخرى ، يجب أن يكون سطحها صلبا . ولكن اذا عوملت الأداة بالطرق المعتادة لتصبح صلبة ، فإنها تسخن كلها وتصبح جميعها صلبة ، وبالتالي قصيفة * ويمكن حل هذه المشكلة اذا وجدت طريقة لتسخين طبقة رقيقة من سطح المعدن بحيث يظل داخله باردا ، فبهذا يمكن أن تكون هذه الطبقة الرقيقة فقط صلبة ، ويظل داخل الأداة ليئا بشكل يسمح لها أن تتحمل الصدمات والضربات . وفى الأفران المعتادة ، تستمر عملية التسخين مدة طويلة . ونتيجة لهذا تنتقل الحرارة من السطح الى الداخل وتسخن الأداة بأكملها بشكل منتظم تقريبا . ولكن ما قد تحقق هنا الحلم أخيرا بفضل الصمامات الالكترونية القوية .

وكما نعرف جميعا ، اذا مر تيار كهربائى فى معدن ترتفع درجة حرارته ، فاذا سخن المعدن باستخلام تيار مستمر أو تيار متنبع الاضاء المتردد قدره ٥٠ هرتز فى الثانية فإن الموصل يسخن بأكمله بانتظام . ولكن اذا استخلم تيار متردد بتردد عال فإن الصورة تتغير تماما . اذ لا يستطيع مثل هذا التيار أن يخترق المعدن الى عمق كبير بل يسرى فى طبقة رقيقة من السطح فقط ، وكلما زاد التردد قل سمك هذه الطبقة . وتسمى هذه الظاهرة بالظاهرة السطحية ، وعادة ما تكون هذه الطبقة السطحية التى تسرى فيها التيارات ذات التردد العالى رقيقة حتى أنه اذا استخلم مولد قوى ارتفعت درجة حرارة سطح المعدن الى درجة البياض قبل أن تبرد الحرارة الوقت الكافى للتغلغل الى عمق معقول .

واذا ما أخذنا قطعة معدنية ابيض سطحها بالحرارة بينما داخلها بارد وغمسناها فى ماء أو زيت ، فإن سطحها يصبح صلبا بينما يظل داخلها ليئا . وتصبح الطبقة الخارجية الصلبة شديدة المقاومة للنبى ، بينما تقوم الطبقة الداخلية اللينة التى تتحمل الطرق بدور المحافظة على المعدن من الكسر .

وطريقة التصلية بالتردد العالى طريقة جديدة نسبيا ، ويرجع الفضل فى تطوير هذا الفرع من فروع الهندسة اللاسلكية الى العلماء الروس مثل ف . ب . فولوجدين ، و ج . ي . باباتنا و م . ج . لوزينسكى .

ويلاحظ ان ف . ب . فولوجدين من رواد الهندسة اللاسلكية .
وقد صمم مولدا للتردد العالى استخدم لزمان طويل كمنبع تقذية رئيسى
لمحطات الراديو القوية . وبالإضافة الى أعماله الكثيرة فى الهندسة
اللاسلكية واستخداماتها الصناعية ، عمل ف . ب . فولوجدين بنجاح
فى فروع الهندسة الكهربائية المرتبطة بها ، وعلى وجه الخصوص تطوير
المقومات المقومات الزئبقية التى تتزايد أهميتها يوما بعد يوم . وتقديرا
لأعماله الكبيرة واختراعاته فى مجال الهندسة اللاسلكية ، فقد منحه رئيس
أكاديمية العلوم فى الاتحاد السوفيتى ميدالية بويوف الذهبية عام
١٩٤٨ .

وقد انتشر استخدام التصليد بالتردد العالى فى الوقت الحاضر فى
جميع فروع صناعات تشغيل المعادن وتصميم المكثات . ويستغرق تصليد
الأجزاء مثل التروس والأعمدة المرفقية للمحركات ثوان قليلة ، وتم
العملية بأكملها عادة أوتوماتيكيا ، الأمر الذى يمنع أى فقد ويضمن
الانتظام التام للأجزاء .

ولا تستخدم مولدات التردد العالى فى التصليد فقط بل أيضا فى
صهر المعادن باستخدام التيار الكهربائى ذى التردد العالى . وفى أثناء
الحرب العالمية الأولى ، كان بابالكسب يعمل فى تصميم وتطوير صمامات
الراديو ذات القدرة العالية ، وكانت الصعوبة الرئيسية التى تواجهه هى
إزالة الغاز من الأجزاء المعدنية المستخدمة داخل الصمامات ، وفى ذلك
الوقت كانت جميع الصمامات ذات القدرة العالية تعمل بطريقة الإزالة
المستمرة للغاز ، فكان الصمام يوصل بمضخة خاصة تفرغ غلافه من
الغازات المنبعثة من المعدن بصفة مستمرة .

فإذا أريد للصمام ان يعمل بدون هذا التفريغ المستمر ، يجب
إزالة الغاز تماما من أجزائه المعدنية قبل فصله عن المضخة بحيث
لا يتبقى منه ما قد ينبعث بعد ذلك أثناء التشغيل . وأحسن طريقة
لذلك هى تسخين الصمام فى فراغ مع امتصاص الغاز المتصاعد بصفة
مستمرة . ولكن التسخين المعتاد فى فرن لا يساعد كثيرا فى هذه
الحالة ، لأن درجة الحرارة التى يمكن استخدامها محدودة بدرجة انصهار
الزجاج ، كما وأن هذا الزجاج بدوره يعوق انتقال الحرارة الى الأجزاء
المعدنية داخل غلاف الصمام نظرا لانخفاض موصليته وموصلية الفراغ
داخله للحرارة .

وقد كانت فكرة بابا لكسب عبقرية وغير معتادة بالنسبة لذلك
الوقت ، فقد اقترح استخدام تيار عالى التردد بدلا من الفرن الذى كان

مستخدما للتسخين . ونحن نعرف الآن ان التيار عالى التردد يسخن اسطح المعادن ، ولكن ذلك كان يعد ثورة تقنية منذ ثلث قرن .

وهكذا مكنت طريقة بالالكسى من ازالة الغاز من الصمامات بشكل فعال ، كما مكنت من انتاج صمامات لا تحتاج للتفريغ أثناء التشغيل .

وقد عرفت الصمامات التى انتجت بهذه الطريقة باسم صمامات بالالكسى . وكانت عولها عاليا كما فاقت كل ما كان متوقعا لها .

وبزيادة خرج مولد التردد العالى الذى كان مستخدما فى التسخين ، تمكن بالالكسى من صهر معدن فى الفراغ ، وما زالت فى مكتبته حتى الآن أول قطعة من الحديد صهرت فى الفراغ باستخدام التيار عالى التردد .

وهذه الطريقة للصهر ذات أهمية خاصة فى انتاج السبائك ذات الجودة العالية حيث يجب ألا يلامس المعدن لهب أو غاز .

وباستخدام مولد للتردد العالى جيله التصميم قدرته ١٠٠ كيلو وات يمكن صهر ١٠٠ كيلو جراما من المعدن فيما لا يزيد على ١٥ دقيقة .

وتستخدم أفران الصهر بالتردد العالى فى الوقت الحاضر بكثرة لا فى انتاج سبائك الحرارة العالية والصلب عالى الجودة فحسب بل أيضا فى انتاج سبائك مغناطيسية خاصة وسبائك خفيفة .

فاذا استخدمت قوالب صب معدنية (لا رملية كالعتاد) نجد ان المسبك الحديث المزود بأفران التردد العالى لا يشبه المسبك المعتاد الا قليلا . وفيه أيضا يقل مجهود الانسان وتصبح ظروف عمله أكثر صحية باستخدام تقنيات التردد العالى . وبهذا تزيد الانتاجية ويتحسن الانتاج .

تسخين بلا نار

لا يستخدم التسخين بالتردد العالى فى الصناعات المعدنية وصناعة المكثات فقط ، بل أيضا فى كثير من المجالات الأخرى ، فقد قام الصمام الالكتروني بثورة تكنولوجية فى معظم فروع الصناعة التى يعتبر فيها التسخين مشكلة هامة وصعبة .

وأول مثال سنذكره هو انتاج الخزف ، فقد صنع الانسان الأوعية الفخارية منذ ما قبل التاريخ ، وكانت حرفة صانع الأوعية الفخارية تعتبر دائما حرفة صعبة كما كانت موضع الاجلال والاحترام .

ولكن ما هو الصعب فى عمل صانع الأوعية الفخارية ؟ تشكل الأوعية سواء منها الفخارية أو الخزفية وكذلك باقى المنتجات الخزفية من عجينة ، وليس هذا بالأمر الصعب ، ولكن الأمر الصعب هو ما بعد ذلك ، اذ يجب أن يجفف المنتج ويحرق ، أى يسخن الى درجة حرارة عالية ، ويكتسب الصلادة والقوة المطلوبين بعد أن يبرد . ومنذ قديم الزمن ، كان التجفيف يتم باستخدام حرارة الشمس . وكثيرا ما كانت تستخدم أفران خاصة تعمل بالهواء الساخن . ويستغرق مثل هذا التجفيف وقتا طويلا لأن المنتج يسخن ويجف عند السطح أولا بينما تتسرب الرطوبة الداخلية ببطء شديد ، ولهذا تجف الأجزاء الرفيعة قبل السميكه ، فيلتوى المنتج أو يتشقق نتيجة لعدم انتظام التجفيف بحث يصبح غير صالح للاستعمال . ولتجنب هذا تبطأ عملية الجفيف حتى تكون أكثر انتظاما . فمثلا تجفف الأوعية الخزفية الكبيرة فى عدة أشهر ، بينما يستغرق تجفيف العوازل الكبيرة المستخدمة فى خطوط نقل القدرة الكهربائية بجهود عال بهذه الطريقة عدة أسابيع ، وهكذا يكون الفقد كبيرا علاوة على ارتفاع تكاليف الانتاج والاستهلاك الكبير للوقود .

وقد ممكن استخدام الصمامات الالكترونية من ايجاد تكنولوجيا جديدة تماما لتجفيف الخزف . وقد أزالته هذه الطريقة الفقد وخفضت تكاليف الانتاج ، ومكنت من اجراء هذه العملية أوتوماتيكيا .

وفى هذه الطريقة الجديدة ، تستخدم مولدات قوية للتردد الغالى ، ولا تسخن المنتجات الخزفية فى هذه الحالة فى المجال المغناطيسى للثلف المولد ، ولكن فى المجال الكهربائى للكثف .

تتذبذب الايونات والذرات والجزيئات المكونة للمادة مع المجال الكهربائى المتردد فترفع هذه الذبذبات القسرية درجة حرارة المادة . ونحن نعرف الآن ان المجال الكهربائى عالى التردد لا يستطيع اختراق المعادن ، ولكنه يستطيع اختراق العوازل بسهولة . ونتيجة لهذا يسخن العازل الموضوع فى مجال كهربائى عالى التردد من جميع أجزائه بانتظام .

ولتسهيل ادخال المنتج الكهربائى للمكثف ، يصنع المكثف قريبا فى الشكل من مسند الكتب المعدنى ، وعندما يعمل المولد يتركز معظم المجال الكهربائى عالى التردد بين لوحى هذا المكثف . ويرفع المجال الكهربائى درجة حرارة الغالبية العظمى من المواد ارتفاعا كبيرا .

والى جانب التسخين الذى يحدث فى الخزفيات الجافة ، تتولد حرارة إضافية فى الخزفيات الرطبة نتيجة لعدد من الأسباب الأخرى ، وتكون غالبية هذه الحرارة الإضافية نتيجة لتعرض جزيئات الماء الموجودة فى العجينة للذبذبات التى ذكرناها من قبل ، فتتولد فى الماء كمية من الحرارة

أكبر من تلك التى تتولد فى الحزف نفسه • وهذا يسخن الماء الموجود فى مسام الحزف بسرعة فيتصاعد على شكل بخار •

وبهذه الطريقة يتم تسخين المنتجات الخزفية الى أن تجف بسرعة وبانتظام يمنع تشوها • وتوضع القطع المراد تجفيفها على ألواح معدنية تنزلق بين ألواح المكثف المتصلة بمولد التردد العالى • وعند تشغيل المولد تسخن القطع بسرعة كبيرة وتمتص كمية كبيرة من الطاقة ، وعندما يتبخر الماء الموجود فيها تكف القطع عن امتصاص ذلك الجزء من الطاقة التى كانت تمتصه جزيئات الماء من المجال مباشرة فى المرحلة الأولى من مراحل التجفيف •

وفى نهاية عملية التجفيف لا تمتص الطاقة من المجال سوى ايونات الحزف • وتكون قيمة هذه الطاقة أقل بكثير من تلك التى كانت تمتص فى بداية التجفيف • ويكون هذا إشارة الى أن التجفيف قد تم ويمكن إيقاف المولد • ويتم هذا عادة أوتوماتيكيا بإشارة من جهاز القياس الذى يقيس القدرة المستهلكة فى المكثف •

ولا يقتصر التسخين بالتردد العالى على انتاج الحزقيات ، اذ يستخدم التيار عالى التردد فى تجفيف الشاي والطباق تجفيفا جيدا ويحسن خواصهما بالمقارنة بالطرق المعتادة للتجفيف • كما يستخدم أيضا فى تجفيف الأذرة والبطاطس والقمح والقش ، وكذلك يستخدم التيار عالى التردد فى إذابة الدهون من المنتجات الجانبية فى اسطبلات الماشية وفى حفظ المأكولات وفى معالجة فيالج الحرير وانضاج الخبز وحتى فى طبخ الطعام •

ويستخدم التسخين بالتيار عالى التردد أيضا فى صناعة البلاستيك والمطاط ، وفى جميع هذه الحالات ، يمكن ميكنة الانتاج ميكنة تامة نتيجة لذلك •

وبهذا يزيد الانتاج زيادة كبيرة وتتحسن ظروف العمل ونوع المنتجات وينخفض استهلاك الوقود •

ولهذه الطريقة فى التسخين أهمية خاصة فى صناعة الأخشاب ، فمن المعروف انه لا يمكن استخدام الخشب الا اذا كان جافا ، اذ سرعان ما تنقلص المنتجات المصنوعة من الخشب الرطب وتتشقق وتتلف • وتستغرق عملية تجفيف الخشب الآن وقتا أطول مما تستغرقه عملية تجفيف الحزفيات • فنظرا لانه لا يمكن تسخين الخشب الى درجات عالية من الحرارة ، فان عمودا من البلوط مساحة مقطعة عشرة سنتيمترات مربعة يستغرق حوالى ١٠٠ يوم ليجف باستخدام الهواء الساخن • وحتى مع

هذا لا يكون التجفيف منتظما ، وكثيرا ما تتشقق الأعمدة . لهذا السبب يجفف الخشب ذو الجودة العالية مثل ذلك الذى يستخدم فى الآلات الموسيقية فى درجة حرارة الغرفة لفترات تصل الى عدة سنين .

ولكن اذا وضعت نفس أعمدة البلوط فى مجال كهربائى على التردد فانها تجف فى ساعات قليلة دون أى تلف . وتجف الأنواع الأقل سمكا فى دقائق ، ويبدون أى تأثير على جودة الخشب .

ويستخدم تجفيف الخشب بالتيار على التردد فى مصانع الطائرات بكثرة ، وانه لمنظر جميل حقا أن ترى الألواح السميكة الرطبة تنغصم بسحب من البخار الناتج عن الماء الذى فيها بمجرد تشغيل الصمام الالكترونى ، وبعد دقائق تخرج الألواح جافة تماما تقوح منها رائحة الراتنج لتستخدم فى صناعة أدق أجزاء الطائرات .

ويستخدم التسخين بالتردد العالى فى الطب أيضا ، اذ يتكون الجسم الأدمى من مجموعة هائلة من الجزيئات ، فاذا تعرضت هذه الجزيئات لمجال كهربائى على التردد بالشدة اللازمة فانها تتذبذب فترتفع درجة حرارة أنسجة الجسم ، ولا ترتفع درجة حرارة الأنسجة الخارجية فقط بل أيضا الأجزاء الداخلية من الجسم فى نفس الوقت . وهذا له فائدة خاصة فى علاج التهابات الأعضاء الداخلية عندما تفشل قارورة الماء الساخن المعتادة .

العيون والأيدى الكهربائية

تعتبر عملية اختبار أبعاد المنتجات وجودتها ، من أهم المراحل وأشقها فى دورة الانتاج بالجملة فى عصرنا الحديث . وفى بعض الحالات تستغرق عمليات القياس زمنا يصل الى نصف زمن تصنيع المنتج وتشغيله .

كما وأن هناك صعوبات أخرى قد تكون أكثر خطورة ، مثل اختبار ما اذا كانت عملية تصليد عمود ادارة معين قد تمت بطريقة صحيحة ، فعادة ، اذا أريد اختبار مجموعة من أعمدة الادارة ، ينتقى عدد منها ويكسر فى مكنة اختبار خاصة . فاذا كانت القوة اللازمة للكسر فى حدود معينة يعتبر العمود جيدا ، ولكن هذا العمود قد كسر الآن ولا يصلح للاستعمال ، لذا يفترض أن جودة باقى الأعمدة قريبة من جودة ذلك الذى اختبر . ولزيادة الاطمئنان على الانتاج ، تختبر نسبة معينة من كل مجموعة (أى تكسر) وتسمى هذه الطريقة طريقة الاختبار الاحصائى المتلف .

ولا شك في أن هذه الطريقة تعطي شيئا من التأكيد بأن باقى الأعمدة بالجودة المطلوبة ، ولكن هذا التأكيد لا يمكن أن يكون تاما ، كما أن لهذه الطريقة عيبا آخر وهو انه كلما أردنا أن نرفع من درجة التأكد لزم اتلاف عدد أكبر من العينات . والطريقة المثالية بالطبع هي أن نختبر كل قطعة ونتركها صالحة للاستعمال . ويمكن أن يتم هذا فى كثير من الحالات باستخدام الصمامات الالكترونية .

فعند اختبار صلادة الأعمدة تستخدم تلك الخاصية التى مؤداها أن جودة العمود المصلد تعتمد على سمك الطبقة المصلدة وتجانسها . ويمتص الصلب المصلد طاقة من المجال المغناطيسى المتردد أكبر بكثير مما يمتصها الصلب غير المصلد . وبقياس الطاقة التى تمتص من مجال مغناطيسى للمف بوساطة دائرة تستخدم صماما الكترونيا ، يمكن تحديد سمك الطبقة المصلدة بسرعة ودقة ، وبالتالى يمكن معرفة مدى جودة التصليد . وفى هذه الحالة يستخدم مجال متردد بتردد صوتى لأنه أقدر على التغلغل الى عمق كبير داخل المعدن . وتستخدم هذه الطريقة للاختبار أيضا فى صناعة الأحذية لفرز القطع الحديدية التى تثبت فى النعال حسب درجة صلابتها ، وكذلك لاختبار صلادة أشرطة الصلب المستخدمة فى مكينات ندف القطن .

ولنذكر مثالا آخر ، يجب عند دلفنة الأشرطة المعدنية مراقبة سمك الشريط بصفة مستمرة وضبط المسافة بين الدلافين كلما لزم الأمر ، وبالطبع ليس من المناسب قياس شريط متحرك بالوسائل المعتادة . لما إيقاف مكينة الدلفنة لاجراء القياس فأمر مستبعد .

ولكن الصمام الالكترونى يمكن من حل المشكلة الصعبة ببساطة وبشكل يمكن الاعتماد عليه . ويتكون أبسط الأجهزة التى يمكن أن تقوم بهذا العمل من مذبذب منخفض القدرة يولد ذبذبة ترددها ثابتة بوساطة بللورة (*) وجهاز استقبال . ويتكون مكثف دائرة الرنين فى جهاز الاستقبال هذا من لوحين بينهما حيز هوائى . ويثبت هذا المكثف فى مكينة الدلفنة ، بحيث يمر الشريط المراد دلفنته فى الثغرة الموجودة بين اللوحين بدون أن يلمس أيهما . فعندما يتغير سمك الشريط تتغير سعة المكثف فتتغير موالفة جهاز الاستقبال . وتتغير موالفة جهاز الاستقبال تتغير شدة الإشارة المستقبلية من المذبذب الممل . ويوصل خرج جهاز الاستقبال بالجهاز الذى يتحكم فى الدلافين . وبهذا يتغير وضع الدلافين إذا تغير سمك الشريط بحيث يظل ثابتا فى الحدود المطلوبة .

(*) لمعرفة المزيد عن التحكم فى الذبذبات بوساطة بللورة - انظر الفصل الثانى .

وتستخدم نفس الطريقة فى التحكم فى سمك الأشربة المطاطية ،
وسمك أشربة الورق ودرجة الرطوبة بها وفى كثير من الحالات الأخرى
المشابهة .

وباستخدام الصمامات الالكترونية مع الخلايا الضوئية يمكن توسيع
مجال استخدام هذه الأدوات فى أغراض التحكم الآلى .

فمثلا يزيد الفقد فى الوقود زيادة كبيرة اذا كان احتراقه فى الأفران
الكبيرة غير تام كما يتلوث الجو بغازات ضارة . ويمكن التحكم فى الاشتعال
باستخدام خلية ضوئية ، فتوضع خلية ضوئية ومصباح كهربائى بحيث
يمر ضوء المصباح فى الغاز العادم قبل أن يصل الى الخلية الضوئية .
وبعد تكبير هذا التغير فى تيار الخلية بالوسائل الالكترونية تكبيرا مناسباً
يمكن استخدام الإشارة الناتجة للتحكم فى تيار الهواء .

وتستخدم نفس الطريقة للتحكم فى نقاء الماء فى محطات تنقية الماء
الكبيرة اذ تكتشف أقل عكارة فى الماء فوراً باستخدام الخلايا الضوئية
وترسل إشارة الى لوحة التحكم . ويعمل كثير من أجهزة قياس العكارة
(أجهزة قياس درجة شفافية المحاليل والغازات) بهذه الطريقة .

وتعتبر الأجهزة التى يمكنها قياس أشعة الضوء باستخدام الخلايا
الضوئية من الأجهزة ذات القيمة العظيمة فى اختبار دقة أجزاء المكونات .
اذ بتغير أبعاد أجزاء المكنة عن القيمة المسموح بها تتغير أبعاد الثغرة المتكونة
بينها . وتتغير أبعاد هذه الثغرة بتغير كمية الضوء المارة خلالها فيستجيب
جهاز الخلية الضوئية لهذا التغير ويرسل إشارة تدل على حدوث خطأ أو
تلف . وبمساعدة آلية التشغيل ، يمكن لهذه الأجهزة أن تفرز الأجزاء
أوتوماتيكياً أو أن توافق بين الأجزاء التى تعمل معا مثل الاسطوانات مع
الكباسات أو الأعمدة مع المحامل . وهناك جهاز يستعمل الخلية الضوئية
يسمى «جهاز قياس السطوع» يقيس درجة سطوع الفراء ، وهو فى الواقع
يقيس درجة سطوع الضوء المنعكس من الفراء .

وهنا قد يسأل سائل : هل يمكن استخدام الخلية الضوئية فى
تحديد لون منتج ما ؟ نعم . ولكن يجب وضع قطعة ملونة من الزجاج
(مرشح ضوئى) بين المنتج والخلية الضوئية . ويمكن باستخدام جهاز
قياس شدة اللون ذى الخلية الضوئية تحديد تركيب الغازات والوسائل
عن طريق الضوء الذى تمتصه .

وكما هو معروف ، يتغير لون الأجسام المسخنة بتغير درجة حرارتها .
وكثيراً ما يقال « ساخن لدرجة الاحمرار » أو « ساخن لدرجة البياض » .

وباستغلال مقدرة الخلية الضوئية على الاستجابة للألوان ، أمكن تصميم بيرومتر سطوع ، وهو جهاز الكترونى يقيس درجات الحرارة • و يقيس البيرومتر ذو الخلية الضوئية - كما يدعى هذا الجهاز - درجات الحرارة العالية عن طريق لون أو سطوع الجسم المسخن •

ويستخدم أنبوب أشعة الكاثود الذى عرفنا استخدامه فى التليفزيون والرادار فى كثير من الأجهزة الأخرى ، ومن هذه الأجهزة جهاز يعرفه الأطباء جيداً • ها نحن الآن فى غرفة عمليات يسودها الصمت العميق اذ تجرى فيها إحدى عمليات القلب المعقدة ، وينصت الجراح بانتباه لضربات قلب المريض ، ولكن هناك « اذنا » أكثر حساسية هى ذلك الجهاز الالكترونى الذى يتتبع على شاشته التيارات الكهربائية المتولدة أثناء خفق القلب • وحيث يلزم قياس الزمن بكسور الثوانى لا يمكن الاستغناء عن هذا الجهاز ، وبوساطته تمكن رؤية أى تغير فى نشاط القلب - ويظهر هذا على شكل تغير فى شكل الرسم الظاهر على شاشة الأنبوب - قبل أن يصبح خطراً على المريض • وباستخدام هذا الجهاز فى التشخيص أيضاً ، يتمكن الطبيب من تشخيص مرض القلب فى دقيقة ، اذ لا يستطيع هذا الجهاز تسجيل الظواهر الكهربائية التى تصاحب عمل القلب فحسب ، بل أيضاً الظواهر الكهربائية المصاحبة لعمل باقى الأعضاء • وباستخدام هذا الجهاز تمكن مراقبة المنحنيات الخاصة بكمية الأكسجين فى الدم وضغط الدم وباقى البيانات الأخرى • وكذلك صمم للأغراض الطبية أجهزة رسام المنح الكهربائى (وهى أجهزة لدراسة التيارات الحيوية المتولدة فى المنح) ، وأجهزة لدراسة قابلية الأعصاب والعضلات للأنارة بالكهرباء وأجهزة لقياس معدلات الاستجابة للمؤثرات المختلفة • الخ • وكان من آخر ما تم فى هذا المجال تصميم جهاز يرسم على شاشة أنبوب أشعة المهبط تمثيلاً مجسماً للعمليات الكهربائية للقلب وقد سمي هذا الجهاز رسام القلب المجسم • وهو يساعد الأطباء على تقييم الظواهر التى تطرأ على القلب تقييماً أدق •

كيف يمكن النظر الى ما يدور داخل آلة أو محرك حيث لا تستطيع اليد الآدمية أو العين أن تصل ؟ فمثلاً كيف يمكن مراقبة تآكل الأجزاء المتحركة ببعضها ، ببعض فى محرك طائرة ؟ كيف يمكن تحديد أى من جزئين متناظرين من أجزاء محرك مصنعين من سبيكتين مختلفتين أكثر مقاومة للتآكل ؟ كان هذا يتم قديماً بالمقارنة وذلك باختيار محرك لزم من عين ، باستخدام الجزء الأول أولاً ، ثم باستخدام الجزء الثانى • ولكن لما كان محرك الطائرة يستهلك حوالى ٣٠٠ كيلوجراماً من الوقود فى الساعة ، فأننا نفهم بسهولة لماذا يعتبر مثل هذا الاختبار شيراً اقتصادياً بالمرّة •

ولكن حل هذه المشاكل باستخدام الأجهزة الحديثة ذات الصمامات الالكترونية والنظائر المشعة . ويتم هذا بالطريقة التالية : يثقب الجزء المراد اختياره ثقباً صغيراً ويملاً بمادة مشعة ، وعندما يعمل المحرك يبلى ذلك الجزء بما فيه من تلك المادة المشعة ، ويحمل زيت التشحيم دقائق من هذه المادة الى حيث يكتشف بوساطة عداد خاص . وترسل النبضات الكهربائية من هذا العداد الى جهاز عد الكترونى يبين معدل بلى الجزء . وتستخدم طريقة مشابهة فى تحديد الجودة النسبية للمواد المستخدمة فى صناعة أجزاء متناظرة . ويكفى هنا اختبار هذه الأجزاء لزمان قصير جداً ، ثم يرى فى أى الحالات كانت دقائق المادة المشعة فى الزيت أكثر . كما يمكن أيضاً استخدام هذا الجهاز للانداز من تآكل الأجزاء الهامة من المكونات مثل أجزاء معينة من تربين ، فاذا ظهرت دقائق مشعة فى الزيت ، يرسل الجهاز إشارة بضرورة إجراء اصلاحات عاجلة .

وتسمح الصمامات الالكترونية بالتعاون مع النظائر المشعة للانسان بالتغلغل فى أحد الميادين المختفية الأخرى ، ونقصد بذلك النظر داخل النباتات وتتبع التفاعلات الكيميائية الحيوية التى تتم فى مراحل نمو النبات المختلفة . ويتم هذا بإضافة مواد مشعة الى السماد الذى يغذى به النبات فيمتصها . وباستخدام جهاز حساس للإشعاع الذرى يمكن الآن بسهولة اكتشاف الأماكن التى اختزنت فيها المادة الكيميائية التى أعطيت للنبات وكميتها .

وقد مهد استخدام مثل هذه الأجهزة الطريق لوسائل أخرى لمكافحة الآفات الزراعية اذ لو احتوت المبيدات الحشرية التى ترش على النباتات على أحد النظائر المشعة لأمكن معرفة الجرعة اللازمة بالضبط لإبادة الآفة إبادة تامة . وتستخدم وسائل مشابهة لاكتشاف أماكن اختزان المواد التى يتناولها الانسان والحيوان ، وعند تحليل مفعول الأدوية المختلفة .

وتستخدم مصانع دلفنة الصلب وكذلك مصانع الأسلاك والكابلات أجهزة بلا ملامسات لقياس سمك أشربة الصلب والأسلاك . وتقيس هذه الأجهزة التى تعتمد على الالكترونيات ، واستخدام النظائر المشعة تيار الإشعاع الذرى الذى يمر فى شريط الصلب ، وتصلح هذه الطريقة لقياس الألواح المعدنية السميكة كما تصلح لقياس أشربة من الصلب يصل سمكها الى خمسة أجزاء من الألف من المليمتر ، وكذلك للأشكال المختلفة من المعادن .

وكذلك تمكن هذه الطريقة من قياس سمك الواح زجاج النوافذ أثناء سحبها من الزجاج المنصهر . ولا يحتاج جهاز القياس الى لمس اللوح ،

ولهذا الامر أهمية خاصة عند قياس السمك فى الأماكن التى يكون اللوح فيها لا يزال ساخنا ولينا ولا يمكن لمسه .

وكذلك تستخدم أجهزة مشابهة فى الصناعة الخفيفة لمراقبة انتظام شريط من القطن أو قياس سمك الطبقة العازلة للماء المتكونة على القماش المصنوع من القطن عند صناعة القماش البزيتى ، وفى كثير من الحالات المشابهة .

وهاك مثالا لجهاز مشابه يسمى الراديو متر ، ويستخدم فى قياس سرعة الهواء أو الغازات أو الماء أو الوقود فى المنشآت الصناعية ، وكذلك سرعة الدم فى الكائنات الحية ، تضاف فيه كمية صغيرة من إحدى النظائر المشعة الى المادة المتحركة وتسير معها . ويوضع جهاز على مسار المادة فى نقطة بعيدة نوعا ما لينين لحظة مرور النظير المشع . وتسجل هذه اللحظة ولحظة اضافة المادة المشعة على شاشة أنبوب أشعة مهبط على شكل انحراف فى الشعاع الالكترونى . وبملاحظة المسافة بين الانحرافين (النبضتين) على تدريج الأنبوب ، كما فى الرادار يمكن معرفة سرعة المادة المتحركة .

ولا تساعد الضمانات الالكترونية على النظر الى المناطق المختفية عن العين فحسب بل أيضا على رؤية الدقائق الصغيرة التى لا ترى بالعين المجردة . وقد عرف منذ زمن طويل ، أن المواد تتكون من جزيئات وذرات ، ولكن لم يتمكن الانسان من رؤية الجزيئات - والكبير منها فقط الذى يتكون من آلاف الذرات - الا قريبا . وقد تم هذا باستخدام الميكروسكوب الالكترونى . وقد وجد بعد ذلك أن الجزيئات الكبيرة ليست هى النهاية بالنسبة للالكترونات ، اذ تم تصميم جهاز أكثر حساسية وهو جهاز الاسقاط الايونى الذى تمكن بوساطته رؤية الجزيئات الصغيرة أيضا . وتبلغ قدرته على التكبير من مليون الى مليونى مرة . وقد مكن هذا الجهاز الانسان من رؤية تركيب النسق البلورى للمعادن وذرات المواد الكيميائية مثل الأكسجين والباريوم لأول مرة فى التاريخ . وآخر ما وصل اليه العلم فى هذا المجال هو الميكروسكوب البروتونى . ويمكن بوساطته رؤية الأشياء التى لم تكن رؤيتها ممكنة حتى بجهاز الاسقاط الأيونى ، ودراستها .

الالكترونيات واللاسلكى فى الطب

غالبا ما يكون تأثير الاشعاع النبضى على الانسان (ونقصد بهذا الاشعاع ذا الكمية والتردد المحدودين) نافعا جدا . فقد اكتشف العلماء أنه اذا تعرض مريض بارتفاع ضغط الدم لمجال منبعث من مولد يشع

طاقة بتردد قدره ٥٠ مليون ذبذبة في الثانية في نبضات طولها عشرة اجزاء فقط من مليون من الثانية ، فان مثل هذا الاشعاع يخفض ضغط دمه ودرجة حرارته بشكل واضح ويسلمه للنوم .

وقد علق الاطباء أخيرا أهمية عظمى على علاج مختلف الأمراض بالنوم . اذ أن للنوم خواص علاجية ، وغالبا ما يكون مثل هذا العلاج مؤثرا جدا . وقد وجد العلماء أن تعريض الجهاز العصبي الادمى لنبضات ضعيفة شكل موجتها مربع وتردها من ذبذبة واحدة في الثانية الى أربعين يولد النوم . وليس لهذا النوم المولد اصطناعيا أية آثار جانبية ضارة .

كما اكتشف أن النبضات ذات المدة الطويلة والتردد العالي لها تأثير مخدر على الكائن الحي ، فهي تسبب « تخديرا كهربائيا » . وكذلك تثير النبضات ذات الأشكال الأخرى (أسنان المنشار مثلا) العضلات وتجعلها تقلص . وهذه الظاهرة هي أساس التدريبات الكهربائية للعضلات . وبهذا ساعدت مولدات النبضات اللاسلكية على خلق طريق علاج للانسان جديدة تماما .

ويجدر بنا أن نذكر أيضا جهازا الكترونيا جديدا آخر قد يصبح من الأدوات المساعدة التي لا يمكن للطبيب الاستغناء عنها ، ألا وهو مجلس لاسلكي صغير للدراسة معدة الانسان وامعائه دراسة مفصلة . يتلمع المريض هذا المجلس كحبة الدواء فيمر من المرىء الى المعدة ومنها الى الأمعاء مرسلا في أثناء مروره اشارات تبين قيم الخواص الطبية الهامة مثل الضغط ودرجة الحمضية ... الخ .

ويستقبل جهاز لاستقبال الموجة القصيرة ، الاشارات التي يرسلها هذا المرسل غير العادى . وتسجل على شريط راسم الذبذبات الكهربائى . وتساعد المنحنيات المسجلة على هذا الشريط ، الطبيب على تشخيص المرض . وهذا المجلس اللاسلكى أحد أعاجيب الهندسة حقا ، اذ توضع جميع اجزاء هذا المرسل الترانزستور فى غلاف من البلاستيك طولُه ٢٤ ملليمترا فقط وهذا يعطى فكرة جيدة عن حجم هذه الاجزاء ، ويحتوى الغلاف أيضا على بطارية لتغذية المرسل .

وقد فتحت الأبحاث الخاصة باستخدام الآلات الحاسبة الالكترونية ذات « الذاكرة » الهائلة والقادرة على اتخاذ القرارات المنطقية آفاقا واسعة فى التشخيص الطبى .

الأوتومية الالكترونية

لا تشترط الأوتومية الالكترونية استخدام الآلات الحاسبة الالكترونية؛ بل انه فى عدد من الحالات يكون من الأنسب والأخص استخدام أجهزة الالكترونية بسيطة مصممة لتؤدى عمليات محددة . وسنأخذ مثالا على ذلك كاشفات المعادن وماسكات الشذرات المستخدمة فى صناعات المعادن اللاحديدية . يطحن الخام - وهو المادة المنتجة للمعدن - فى مكينات طحن خاصة وتنسبب قطع المعدن الكبيرة التى قد تكون ضمن الخام فى قلف هذه المكينات . ولوقاية المكينة من الأجزاء المعدنية الكبيرة ابتكر جهاز خاص هو كاشف المعدن الالكترونى . ويتكون الجهاز من مكبر الكترونى متصل بداخله دائرة موالفة . ويوضع الملف الخارجى للدائرة الموالفة تحت الحزام الناقل الذى يحمل الخام الى مكينة الطحن ، فإذا كانت هناك قطعة من قضيب أو مسبار أو أى شئ معدنى آخر فى الحام يتغير حث الملف بمرورها قريبا منه . وهذا يغير بدوره تردد رنين الدائرة الموالفة ، ويغير بالتالى من شدة الإشارة الداخلة الى المكبر فيشغل المرحل المتصل بخرجه . وهذا المرحل اما أن يوقف الناقل أو أن يقفل دائرة مغناطيس كهربائى قوى يلتقط الجسم المعدنى بعيدا عن الحام . وتعمل ماسكات الشذرات بنفس الطريقة .

وقد استخدمت الأوتومية الالكترونية على نطاق واسع فى أول محطة أنشئت فى العالم لتوليد القدرة الكهربائية بالذرة وهى فى الاتحاد السوفيتى . وفيها تعمل الصمامات الالكترونية فى مراكز رئيسية فتنحكم فى تشغيل مفاعل اليورانيوم وهو مصدر الطاقة الذرية ، وتراقب شدة فيض النيوترونات وأشعة جاما وباقى الاشعاعات المنبعثة منه ، وتراقب المبادل الحرارى والحيز المحيط بالمفاعل . كما تعطى الأوامر التى تشغل الآليات التى تنظم أماكن قضبان اليورانيوم والضغط والحرارة ومعدل سريان سوائل التبادل الحرارى وسوائل التبريد . كما تشارك الصمامات الالكترونية فى تلك المهمة النبيلة ، ألا وهى المحافظة على صحة العاملين فى المحطة ، فتراقب كمية الاشعاع فى الهواء والماء وحوائط المبنى وأرضيته وتضمن أمان العمل فى المحطة أمانا تاما .

وقد مكنت الأجهزة الالكترونية من تحقيق إحدى أمنيات الانسان الكبيرة ، ألا وهى التحكم من بعيد ، وليس بعيدا ذلك اليوم الذى سنتطلق فيه لأول مرة فى تاريخ البشرية أول محطة فضاء (صاروخ) من الأرض فى أول رحلة الى القمر . وبالطبع سيكون أول صاروخ بلا ملاحين (★) ،

(★) كتب هذا الكلام فى سنة ١٩٥٩ - للترجم .

وسيتّم التحكّم فيه أوتوماتيكيا باللاسلكى من الأرض ، وعلى الرغم من عدم وجود انسان فى الصاروخ فإن الناس على الأرض سيحصلون على جميع المعلومات اللازمة عن حالة الصاروخ مثل طروف الطيران و « مناخ » الطبقات العليا من الجو والفضاء الخارجى وشدة الاشعاع الكونى . وسترسّل جميع هذه المعلومات الى الأرض أوتوماتيكيا عن طريق أجهزة تكون الصمامات الالكترونية وأشباه الموصلات من أهم مكوناتها . وتحمل فكرة التحكّم من بعيد باستخدام الأجهزة اللاسلكية فى طياتها الأمل فى امكان القيام برحلات طويلة المدى بطائرات لا يقودها انسان تحمل الشحنات ذات الطبيعة العاجلة فى المستقبل القريب ، وكذلك ظهور المركبات ذاتية التوجيه . وقد صنع قريبا جراح موجه باللاسلكى . وتتكون معدات التحكّم من بعيد المركبة فيه من محطة لاسلكية صغيرة وجهاز ارسال يعمل ببطارية ويرسل موجة ترددها ٢٧ر١٢ كيلوساىكل فى الثانية . ويستطيع هذا الجراح أن يغير آلاته من وضع الحمل الى وضع التشغيل وبالعكس ، كما يستطيع أن يدور يمينا ويسارا .

وقد مكنت التليمترية (القياس عن بعد) من انشاء محطات أرصاد جوية فى أماكن نائية ترسل المعلومات منها بأجهزة القياس اللاسلكية . وكذلك يمكن استخدام فكرة القياس عن بعد فى تصميم جهاز يساعد على هبوط الطائرات آليا عندما ينخفض مدى الرؤية الى الصفر . ولا شك فى أن القياس عن بعد باللاسلكى ، وكذلك أجهزة التحكّم اللاسلكية ستصبح من الأدوات الهامة فى تشغيل محطات الضخ الكهربائية ومحطات الرى والتحكّم فى توزيع الماء والصرف ، وكذلك التحكّم فى محطات القدرة فى المزارع . وقد استخدمت الصمامات الالكترونية بنجاح فى مجالات العلم والهندسة والاقتصاد القومى .

وكما رأينا من الأمثلة السابقة ، تضع تقنيات اللاسلكى امكانيات جبارة فى خدمة الميكنة فى كل فروع الصناعة .

اشباه الموصلات

اصبح الصمام الالكتروني المفرغ الذى ظهر منذ حوالى اربعين سنة فقط ضرورة فى كثير من ميادين العلم والهندسة والصناعة ، ولكنه مازال بعيدا عن الكمال ، فانه قابل للكسر وحساس للاهتزاز والصدمات ، كما يستهلك الكاثود الساخن كمية كبيرة من الطاقة ، كما يحده تصميمه المعقد من صناعته فى احجام صغيرة . ونتيجة لهذا نجد ان المعدات اللاسلكية تكون عادة كبيرة وتشغل حيزا لا بأس به ، وهذا امر ليس بالهام بالنسبة لأجهزة الراديو والتليفزيون المنزلية ، ولكن هناك أجهزة مثل الآلات الحاسبة الالكترونية مثلا تحتاج لعشرات الآلاف من الصمامات ، وكثير منها يشغل عدة حجرات او حتى طوابق . أما بالنسبة للأجهزة الالكترونية الموضوعة فى الطائرات والسيارات ، ناهيك بتلك الموضوعة فى سفن الفضاء والأقمار الصناعية ، فانه من أهم الأمور أن يكون حجمها ووزنها واستهلاكها الكهربائى أصغر ما يمكن ، كما يجب أن تكون مقاومتها للاهتزاز أكبر ما يمكن .

وحتى يكون الحجم والوزن صغيرين الى أقصى حد ، فانه يجب البحث عن حلول جديدة تماما .

وهنا نهضت الفيزياء لاتخاذ الالكترونيات ، فاقترحت مادة يمكن استخدامها فى صناعة أداة تشبه فى عملها الصمام الالكتروني ، ويشغل « الصمام الثلاثى » المصنوع من هذه المادة فراغا قدره ٠.١ سنتيمترا مكعبا فقط ، فهو أصغر بكثير من صمام ثلاثى له نفس القدرة . وليس لهذه « الصمامات الثلاثية » الجديدة ألواح ولا كاثودات ولا شبكات ولا أى عنصر من العناصر الأخرى التى توجد عادة فى الصمامات المفرغة ، ولكنها تستطيع تقويم الذبذبات الكهربائية وتكبيرها كالصمامات الثنائية والثلاثية المفرغة .

كذلك ليس لهذه الأداة كاثود يحتاج لقدرة اضافية لتسخينه ،
ولهذا ينخفض الاستهلاك الكلى للجهاز انخفاضاً كبيراً .

من أى شىء تصنع هذه « الصمامات » غير العادية ؟ : من المعروف جيداً أن العلم والهندسة قد استخدمتا على نطاق واسع كلا من المعادن التى تعتبر موصلات جيدة للتيار الكهربائى والمواد العازلة التى لا توصله ، كما درست خواصها دراسة واضحة . ولكن المعادن والمواد العازلة ما هما الا طرفان فى سلسلة واحدة ، وبينهما مجموعة كبيرة من أشباه الموصلات التى تتوسط فى خواصها المعادن والمواد العازلة ، وتشتمل أشباه الموصلات على معظم أكاسيد وكبريتات المعادن ومركبات معدنية أخرى والجرافيت والسيلينيوم والجرمانيوم والسيليكون والتلورىوم وعناصر أخرى .

وعلى الرغم من أن نسبة لا بأس بها من العناصر المعدنية تدخل ضمن أشباه الموصلات الا أنها ظلت لوقت طويل بعيدة عن أعين العلماء . وكانت بعض الخواص الممتازة لهذه المواد مجهولة مما ساعد على أن تظل بعيدة عن الأضواء . ولم يتجه العلماء الى ميدان أشباه الموصلات الذى لم يكن يعرف عنه الا القليل الا فى العقود الأخيرة فقط ، وجاء هذا نتيجة حاجة الهندسة اللاسلكية لأدوات جديدة ، ولحاجة الصناعة لمواد جديدة ذات خواص معينة .

وقد عرفنا من قبل أن أ. س. هوبوف ومعاونيه قد استخدموا فى عام ١٩٠٠ كاشفات شبه موصلة لاستقبال الإشارات اللاسلكية والاستماع إليها باستخدام سماعات التليفون . وتحول هذه الكاشفات التيار المتردد الى تيار ذى اتجاه واحد ، أى تقومه ، وهذه العملية ضرورية حتى يمكن الاستماع الى الإشارة اللاسلكية فى السماعات .

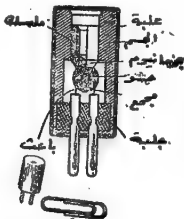
وكانت الكاشفات الأولى تصنع من البلورات الطبيعية مثل الجالينيت والبيريت والزينكيت والستانيت والكاپوراندام وبيريت النحاس وبللورات أخرى . وكان الكاشف البللورى فى تلك الأيام يتكون من وعاء معدنى توضع البللورة داخله وزنبرك للتلامس ذى طرف مدبب (شارب القطة) . وللحصول على أحسن كشف ، كان من الضرورى تحريك شارب القط على سطح البللورة للبحث عن نقطة حساسة ، وبالطبع لم تكن هذه الطريقة بالأمر المريح أثناء الاستقبال .

وفى سنة ١٩٢٢ ، اكتشف و. ف. لوسيف الذى كان يعمل فى معمل نيشنى نوفجورود اللاسلكى ، امكانية استخدام الكاشفات البللورية

فى توليد الموجات اللاسلكية وتكبيرها • ولكن نظرا لأن الصمامات الالكترونية كانت فى ذلك الحين فى ذروة دخولها المنتصر لبيد ان الالكترونيات، فان التجارب الأولى لاستخدام أشباه الموصلات لم تجذب الانتباه الا قليلا • ومع ذلك فقد ظلت الكاشفات البللورية مستخدمة لزمان طويل فى أجهزة الاستقبال البسيطة حتى تغلبت الصمامات الالكترونية عليها تماما ومكنت بذلك من صنع أجهزة استقبال أكثر تعقيدا وتكبرا وأكبر قدرة •

ثم أهملت الكاشفات البللورية ظلما •• حتى الحرب العالمية الثانية ، عندما أجبر انتقال الرادار الى استعمال الموجات السنتيمترية المهندسين على تصميم مكونات يمكنها أن تحل محل الصمامات الالكترونية فى هذا النطاق من الترددات •

وتتلخص المشكلة فى أن استخدام الصمام الالكترونى فى نطاق الترددات فوق العالية محدود بالقصور الذاتى للالكترون وبتأثير السعة بين أقطاب الصمام وبعضها • وفى أثناء البحث عن حل ، تذكر العلماء الكاشفات البللورية الأولى • وقد أدى هذا الى تطويرها الى أنواع أرقى • فظهر أولا الكاشف السيليكونى ثم الكاشف المصنوع من الجرمانيوم • وكان أول ما ظهر الثنائى ذو نقطة التلامس ، وهو يشبه من حيث المبدأ الكاشف القديم ولكنه يمتاز بصغر الحجم ومتانة التصميم وبأنه لا يحتاج فى تشغيله الى أى ضبط آخر • ثم ظهر بعد ذلك ما يسمى بالنوع ذى الوصلة وبه نفس المميزات ولكن لا توجد به نقطة تلامس • ثم ظهر من عدة سنوات أول طراز من الثلاثى شبه الموصل الذى سمي الترانزستور وكان لأول نوع نقطتا تلامس معدنيتان يلمسان لوح الجرمانيوم فى نقطتين قريبتين جدا ، الواحدة من الأخرى (شكل ٤٠) • وكانت هاتان النقطتان والقاعدة



١ شكل ٤٠ : الترانزستور ذو نقطة التلامس

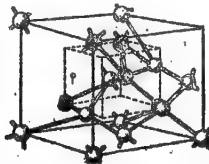
المعدنية التي تحمل البلورة شبه الموصلة هي أطراف الثلاثي • ويسلط على احدى نقطتى التلامس جهد موجب صغير وتعمل بطريقة تشبه الكاثود فى الصمام الالكترونى • وتسمى هذه النقطة الباعث • ويسلط على النقطة الثانية جهد اكبر بالنسبة للقاعدة وتسمى المجمع وتشبه فى عملها لوح الصمام الالكترونى • وتعمل القاعدة المعدنية للترانزستور عميل قطب التحكم • ويمكن أن تعمل الترانزستورات ذات نقط التلامس التي ظهرت فى السنين الأخيرة بترددات حتى ١٠٠٠ ميجاسيكل فى الثانية • ثم ظهرت بعد هذا النوع أنواع أخرى من الترانزستور سميت بالترانزستور ذى الوصلة ، والترانزستور ذى الوصلة النامية • وكانت فى البداية لا تستطيع أن تعمل الا بترددات منخفضة ، ولكنها شقت طريقها بعد ذلك الى الموجات الاليسيمترية •

الالكترونات والثقوب

تنشأ الخواص الممتازة غير العادية لأشباه الموصلات من الطريقة التي يمر بها التيار الكهربائى خلالها •

كيف يمر التيار الكهربائى فى الجرمانيوم الذى يعتبر مثالا نموذجيا لأشباه الموصلات ؟ • ينتمى الجرمانيوم - كما نعلم - الى المجموعة الرابعة فى النظام الدورى للعناصر ، وبالتالي فان له أربعة الكترونات تكافؤ يمكنها الاشتراك فى التفاعلات الكيميائية وعمليات التوصيل الكهربائى •

وعندما تتكون بللورة الجرمانيوم ، تترتب الذرات (كما تفعل ذرات باقى الأجسام البللورية) بنظام معين ثابت مكونة نسقاً بللوريا (شكل ٤١) • ويتكون النسق البللورى للجرمانيوم بحيث تكون كل ذرة



(شكل ٤١) : تركيب النسق البللورى للجرمانيوم •

مرتبطة مع أربع ذرات أخرى بواسطة ثنائي الكترولونات . ومثل هذه البلورة مستقر جدا ، خصوصا في درجات الحرارة المنخفضة ، إذ ترتبط كل ذرة من ذراتها ارتباطا وثيقا بالذرات المجاورة مستخدمة في ذلك جميع الكترولونات التكافؤ الخاصة بها . وفي هذه الحالة ، لا توجد الكترولونات حرة في البلورة . لهذا تكون بلورة الجرمانيوم النقي في درجات الحرارة المنخفضة عازلة للكهرباء ، أي لا توصل الكهرباء ، لأن المعادن ليست جيدة التوصيل للكهرباء إلا لاحتوائها على الكترولونات حرة . وتختلف المواد العازلة عن المعادن في أنها لا تكاد تحتوى على أن الكترولونات حرة قادرة على الحركة بين الذرات في أية درجة من درجات الحرارة . وتستطيع أشباه الموصلات أن توصل التيار الكهربائي إذا ظهرت فيها الكترولونات حرة نتيجة لتحطيم بعض الروابط التي بين الذرات مثلا . ويمكن أن يتم هذا التحطيم بتسخين شبه الموصل ، إذ بالتسخين تتذبذب الذرات بحيث يمكن لبعض الكترولونات - باكتسابها طاقة اضافية - أن تكسر روابطها بالذرات وتحرر نفسها منها . وتستطيع هذه الكترولونات أن تنتقل داخل البلورة حاملة التيار الكهربائي . وفي نفس الوقت تظهر امكانية أخرى لنقل التيار الكهربائي في المادة شبه الموصلة ولكن نتيجة لسبب آخر ، إذ أن المكان الذي يخلو بمفادرة الكترولونات الذي كان يشغله يمكن أن يشغل بالكترولون آخر مجاور . والمكان الذي يخلو بانتقال هذا الكترولون الثاني يمكن أن يشغل بالكترولون ثالث . وهكذا نجد أنه بالإضافة الى مجموعة الكترولونات المتحركة داخل البلورة من ذرة الى أخرى في اتجاه ما ، فإن هناك مجموعة من الأماكن الشاغرة التي يمكن أن تشغلها الكترولونات تتحرك في الاتجاه المضاد ، وعادة يسمى المكان الخالي من الكترولونات « ثقبا » . وعندما تفقد ذرة ما الكترولونا حاملا لشحنة سالبة ، تصبح الذرة التي كانت متعادلة موجبة ، ومن هنا يمكن القول بأن الكترولون يمثل شحنة سالبة ، بينما يمثل الثقب شحنة موجبة .

وتتحرك الكترولونات التي تحررت من الذرات بفعل الحرارة حركة عشوائية بين الذرات . ولكن إذا سلط مجال كهربائي خارجي على البلورة تتحرك الكترولونات نحو الطرف الموجب مكونة بذلك تيارا كهربائيا . ويسمى هذا التيار الناتج من الكترولونات الحرة بتيار الكترولونات ، وتسمى أشباه الموصلات التي يسرى فيها التيار بهذه الطريقة بأشباه الموصلات ذات التوصيل بالكترولونات .

ولأشباه الموصلات طريقة أخرى في توصيل التيار الكهربائي وهي ما يسمى بالتوصيل بالثقوب . وفي حالة عدم وجود مجال خارجي تتحرك مجموعة الثقوب حركة عشوائية في البلورة ، ولكن إذا ما سلط مجال

خارجى عليها يتغير الوضع تغيرا جنونيا . اذ تشغل الالكترونات الثقوب المجاورة للقطب السالب . وهذه هي الطريقة التى تتحرك بها الالكترونات الى القطب الموجب . ويسمى هذا التيار بتيار توصيل الثقوب . ويكون عدد الالكترونات المتحركة وعدد الثقوب الشاغرة فى بللورة الجرمانيوم التى نتكلم عنها واحدا بالطبع ، ويكون لشبه الموصل هذا خاصية التوصيل بالالكترونات والثقوب جميعا ، أى تحتوى على شحنات من النوعين . وتسمى هذه الخاصية بالموصلية الذاتية للبللورة .

ولكن يمكن ايجاد حالة فى بللورة شبه موصلة لا يكون فيها عدد الثقوب مساويا لعدد الالكترونات الحرة . وفى مثل هذه البللورة يكون احد نوعى التيار غالبا على الآخر : اما تيار الالكترونات أو تيار الثقوب . ويمكن الحصول على هذا الوضع بإدخال احدى الشوائب على الجرمانيوم النقى . والشوائب التى تغلب تيار الثقوب على تيار الالكترونات هى الانديوم والجالسيوم ومواد أخرى . والشوائب التى تغلب تيار الالكترونات هى الأنتيمون والزرنيخ والبيزموت ومواد أخرى .

ولنفرض الآن أن بللورة من الجرمانيوم قد « لوثت » بالزرنيخ ، فنتيجة لهذا تحل بعض ذرات الزرنيخ محل بعض ذرات الجرمانيوم فى النسق البللورى ، وللزرنيخ خمس الكترونات تكافؤ ترتبط أربعة منها بالالكترونات الأربعة لذرات الجرمانيوم المجاورة ، بينما يظل الخامس حرا ، ونتيجة للحركة الحرارية للذرات ، يستطيع هذا الالكترون أن يترك ذرته بسهولة ويصبح موصلا للتيار ، تيار الالكترونات . وبهذا يكون التوصيل بالالكترونات هو الغالب فى هذه البللورة « الملوثة » . وبالطبع تعتمد قيمة التيار الالكتروني على عدد الذرات المخيلة التى أضيفت الى النسق البللورى للجرمانيوم .

وكيف نحصل اذن على جرمانيوم ذى توصيل بالثقوب ؟ يكفى لهذا اضافة كمية صغيرة من العنصر النادر ، الانديوم ، الى الجرمانيوم النقى ، اذ أن لذرة الانديوم ثلاثة الكترونات تكافؤ فقط يمكنها أن ترتبط بثلاث ذرات مجاورة من ذرات الجرمانيوم ، وبهذا يظل الرابط الرابع خاليا مكونا ثقباً . ويمكن لهذا الثقب أن يمتلئ بالكترون من احدى الذرات المجاورة بعد أن يقطع رابطته بها فتصبح ذرة الانديوم بهذا مشحونة بشحنة سالبة ، ولكن يتكون بجوارها ثقب جديد يمكن أيضا أن يملأ على حساب ذرة مجاورة وهكذا . وبهذه الطريقة تكون الغلبة للثقوب الناتجة عن احلال بعض ذرات الجرمانيوم بذرات من الانديوم سببا فى التوصيل بالثقوب .

ويحق لنا الآن أن نتساءل : كيف يحدث التقويم فى شبه الموصل ؟

يتم التقويم - أى تحويل التيار المتردد الى تيار فى اتجاه واحد - فى الثنائيات شبه الموصلة لأن مقاومتها تعتمد على اتجاه التيار ، وهى فى هذا تشبه الثنائيات المفرغة التى لا تتحرك الالكترونات فيها الا من الكاثود الى الأنود . وفى شبه الموصل المتجانس ، سواء أكان من نوع الالكترونات أو من نوع الثقوب ، لا تعتمد المقاومة على اتجاه التيار ، ولهذا لا يمكن استخدام شبه موصل متجانس فى التقويم ، ولكن الأمر يختلف عند الوصلة ما بين نوعين مختلفين من أشباه الموصلات أو عند الوصلة بين شبه موصل ومعدن -

وأوضح مثال لهذه العملية هو ما يحدث عند الوصلة بين منطقتين احدهما توصل بالالكترونات والاخرى بالثقوب . ويمكن الحصول على هذه الوصلة مثلاً بإضافة نقطة أو طبقة رقيقة من الانديوم على أحد أسطح بللورة من الجرمانيوم ذات توصيل بالالكترونات نتيجة لإضافة كمية صغيرة من الانتيومون من قبل . اذ يحول الانديوم - بتفلفله الى مسافة صغيرة فى بللورة الجرمانيوم - هذه الطبقة الى منطقة ذات توصيل بالثقوب . وتتكون وصلة داخل البللورة بين المنطقة ذات التوصيل بالالكترونات وتلك ذات التوصيل بالثقوب .

ونتيجة للحركة الحرارية العشوائية ، تمر الالكترونات من منطقة التوصيل بالالكترونات الى منطقة التوصيل بالثقوب ، فتشحن هذه المنطقة بشحنة صغيرة سالبة بالنسبة لباقي بللورة الجرمانيوم . وهذه الشحنة تمنع الالكترونات من الانتقال بعد ذلك الى منطقة التوصيل بالثقوب مكونة ما يسمى بفرق جهد التلامس عن الحد الفاصل بين المنطقتين . وتنشأ بهذا حالة من التوازن الديناميكي فى البللورة حيث تنتقل أعداد متساوية من الالكترونات من الجهتين عبر الحد الفاصل . ولكن مع هذا تظل منطقة الحد الفاصل خالية من حاملات التيار الكهربائى اذ يطرد المجال الكهربائى المتكون عند الوصلة الالكترونات والثقوب بعيداً عنها الى داخل منطقتي التوصيل .

وبهذا تتكون طبقة يصل سمكها الى جزء من مائة جزء من المليمتر على جانبي الوصلة تفتقر الى حاملات التيار وبالتالي تكون مقاومتها عالية .

فاذا وصلت بطارية ببللورة الجرمانيوم بحيث يوصل طرفها السالب بالسطح المحتوى على الانديوم وطرفها الموجب بالسطح المقابل ، فإن المجال الكهربائى عند الوصلة يزداد وتتناثر الالكترونات والثقوب مع الوصلة بدرجة أقوى ، ويزداد عرض الطبقة الفقيرة فى حاملات التيار . ونتيجة لهذا تزداد مقاومة الطبقة الفاصلة ويقل التيار المار من البطارية الى البللورة الى درجة كبيرة .

فإذا عكس قطبا البطارية ، يقل المجال عند الوصلة فيقل سمك الطبقة الفعالة في حاملات التيار وبالتالي تقل مقاومتها . وفي هذه الحالة يمر في البلورة تيار أكبر بكثير من الحالة السابقة .

وعند استخدام ثنائى شبه موصل كمقوم ، تسلط عليه فلطية مترددة ، فتغير هذه الفلطية المترددة من سمك الطبقة الفاصلة وبالتالي تغير مقاومتها دوريا . ونتيجة لذلك يكون التيار المار عبرها فى اتجاه ما أكبر بمئات ، بل آلاف المرات ، من التيار المار فى الاتجاه المضاد ، أو بعبارة أخرى يمر التيار فى البلورة فى اتجاه واحد أساسا . وهكذا يتم تقويم التيار المتردد باستخدام الثنائى شبه الموصل .

كنا حتى الآن نتكلم عن الثنائى ذى الوصلة ، والأمر لا يختلف بالنسبة للثنائى ذى نقطة التلامس ، اذ توجد فيه أيضا طبقة رقيقة على سطح شبه الموصل تكون طريقة التوصيل فيها عكس باقى البلورة ، ولا تستخدم مساحة الوصلة بين المنطقتين بأكملها فى التقويم ، بل يستخدم قطاع صغير منها فقط ، قريبا من الطرف المذهب للاماس أو اللولب المعدنى .

ومن مميزات الثنائى ذى نقطة التلامس ، انخفاض السعة الكهربائية للاماس بحيث يمكن استعماله فى الترددات العالية جدا ، أى فى نطاقى الترددات السنتيمترية والمليمترية . أما مميزات الثنائى ذى الوصلة فهى تصميمه المتكامل الذى يجعله قويا ويمكن الاعتماد عليه ومساحة التلامس الكبيرة التى تسمح بمرور تيارات عالية .

أما الثلاثى شبه الموصل - ويسمى الترانزستور - فهو أساسا عبارة عن ثنائىين شبه موصلين على بلورة شبه موصلة واحدة . ويكتسب الترانزستور خاصيته الجديدة وهى التكبير نتيجة لتوصيل بطارية بأحد الثنائىين فى الاتجاه الأمامى بينما توصل بطارية أخرى بالثنائى الثانى فى الاتجاه العكسى . وهذا يعنى أنه فى الوقت الذى توصل فيه بطارية الثنائى الأول بعكس فرق جهد التلامس ، بحيث يقل سمك الطبقة الفاصلة، يزيد سمك هذه الطبقة فى الثنائى الثانى . ولكن هذا وحده ليس كافيا لاكتساب خاصية التكبير ، اذ يجب على منطقتى الانتقال فى كلا الثنائىين أن تتراكبا بطريقة ما اذا أريد للثنائىين أن يكتسبا خاصية الثلاثى وفى هذه الحالة تؤثر الفلطية التى على أقطاب الثنائى الأول على تيار الثنائى الثانى وبالعكس .

ولما كان الثنائى الأول مفتوحا أى أن مقاومته صغيرة ، فانه لا يتأثر بحالة الثنائى الثانى الا تأثرا طفيفا . أما الثنائى الثانى فانه مقفول أى أن

مقاومته عالية جدا ، لهذا فان أى حاملات تيار تخترقه من الثنائي الأول تؤثر تأثيرا كبيرا على مقاومته وبالتالي تغير التيار المار فيه تغييرا كبيرا . وهذا هو التكبير ، اذ تولد فلطية منخفضة مسلطة على أقطاب الثنائي الأول تغييرا كبيرا في التيار المار في الثنائي الثاني .

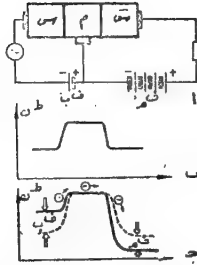
وقد كان الترانزستور الأول من نوع نقطة التلامس . وكان يصنع بتكوين طبقة رقيقة ذات توصيل بالثقب على سطح بللورة من الجرمانيوم ذات توصيل بالالكترونات وذلك بإضافة المادة المناسبة . ويتكون الثنائيان من طرفي زنبركين معدنيين رقيقين يوضعان على هذا السطح . وتكون المسافة بين طرفي هذين الزنبركين المعدنيين من خمسة الى ٢٥ جزءا من مائة من المليمتر . وفي هذه الحالة تتراكب منطقتا الانتقال في الثنائيين تراكبا جزئيا . وكل ما يتبقى بعد هذا هو توصيل شبه الموصل الجديد بالدائرة الكهربائية توصيلا صحيحا .

وتسمى بللورة الجرمانيوم المشتركة بين الثنائيين « القاعدة » . ويسمى الزنبرك المتصل بالبطارية في الاتجاه الامامى « الباعث » الذى منه تدخل حاملات الشحنة الى المنطقة الفاصلة في الثنائي الأول ، ويسمى الزنبرك الثانى المتصل بالبطارية في الاتجاه العكسى « المجمع » ويسحب الحاملات من الثنائي الثانى ، وهكذا يعمل الباعث هنا عمل الكاثود فى الصمام ، بينما يعمل المجمع عمل الأنود ، وتعمل القاعدة عمل الشبكة الحاكمة ، لأن الفلطة بينها وبين الباعث تحدد كمية الحاملات التى تدخل المنطقة الفعالة فى شبه الموصل أو بمعنى آخر التيار الذاهب الى المجمع .

ويستطيع الترانزستور ذو نقطة التلامس أن يكبر الذبذبات الكهربائية ويولدها بترددات تصل الى عدة عشرات بل مئات الميجاساىكل فى الثانية ولكنها منخفضة القدرة نسبيا ، ولا يمكن الحصول على قدرات عالية الا بالتحول الى التصميم ذى الوصلة .

ويمكن الحصول على ترانزستور ذى وصلة بادخال شوائب تسبب توصيلا بالثقب الى جانبي بللورة من الجرمانيوم ذات توصيل بالالكترونات . فاذا كانت الوصلتان قريبتين بالدرجة الكافية تصبح البللورة ترانزستورا جاهزا للتشغيل (شكل ٤٢) .

ويستطيع مثل هذا الترانزستور ذو سطح التشغيل الكبير أن يولد قدرات تصل الى مائة وات ، وهى قدرة لا تستطيعها أقوى الصمامات المفرغة المستخدمة فى أجهزة استقبال الراديو والتليفزيون ، ولكنه لا يستطيع أن يعمل الا عند ترددات منخفضة نسبيا .



(شكل ٤٢) : ترانزستور ذو وصلة
(أ) وتوزيع الجهد (ب) في حالة عدم وجود فلطية خارجية
(ج) في حالة وجود فلطية خارجية

وفي سنة ١٩٥٤ ظهر نوع جديد من الترانزستور . ويتكون هذا الترانزستور من لوح رقيق من الجermanium تحفر على كل من جانبيه - بوسائل كهربائية - خليتان صغيرتان بحيث يصبح سمك طبقة الجermanium بينهما خمسة أجزاء من الألف من المليمتر فقط . ثم تضاف طبقة رقيقة من الانديوم الى قاعى هاتين الخليتين فتتكون على كل من جانبي اللوح وصلة بين منطقتي توصيل بالالكترونات والثقب . وهكذا تضمن قلة سمك القاعدة المتناهي تراكبا كافيا لوصلي الشائين . ويستطيع هذا الترانزستور أن يعمل عند ترددات تصل الى ما يزيد على مائة ميغا ساكل في الثانية أى في نطاق الموجات القصيرة جدا . وفي نفس الوقت فانه أكثر اقتصادا من الترانزستور ذى نقطة التلامس بما يتراوح بين عشر مرات الى عشرين مرة ، كما انه أقوى منه بكثير .

وقد تكلم البعض في سنة ١٩٥٤ عن نوع من الترانزستور أكثر تعقيدا من ذلك . وفي هذا الترانزستور وضعت طبقة رقيقة من الجermanium النقى ذى توصيل طبيعي بين قاعدة ذات توصيل بالالكترونات ومجمع ذى توصيل بالثقب ، وقد مكن هذا من رفع الحد الأقصى للتردد بدرجة لا بأس بها .

وهناك آفاق أوسع بكثير أمام الترانزستور المصنوع من السيليكون، اذ يمكن تصميم ترانزستورات من السيليكون اكبر قدرة وأكثر استقرارا من الناحية الحرارية للعمل عند الترددات الأعلى .

وفي وقتنا هذا توجد أنواع من الترانزستور يمكنها العمل عند ترددات تصل الى حوالي ١٠٠٠ ميجاسيكل في الثانية ، أى بموجة طولها حوالي ٣٠ سنتيمترا .

ومن المميزات الرئيسية لأشباه الموصلات عن الصمامات المفرغة عمرها الطويل جدا الذى قد يصل الى عشرات الآلاف من الساعات (يتراوح عمر صمامات الراديو المعتادة بين ٥٠٠ ساعة و ١٠٠٠ ساعة) .

آفاق جديدة

مكن استخدام الثنائيات والثلاثيات المصنوعة من أشباه الموصلات مع المكونات الصغيرة والدوائر المطبوعة من تصميم معدات مدمجة وصغيرة جدا ومتينة . وباستخدام الدوائر المطبوعة يقل استخدام الأسلاك الى أقصى حد . وتصنع الدوائر المطبوعة من ألواح من الخزف أو البلاستيك وطلاء خاص يعطى سطحا على التوصيل للكهرباء . ولا تقتفى هذه الطريقة بالاستغناء عن الأسلاك التى تصل المكونات بعضها ببعض . بل يمكنها أيضا « طلاء » ملفات ومكثفات أيضا ، بل ومقاومات ، ولكن باستخدام طلاء آخر . أما المكونات التى لا يمكن « طلاؤها » مثل المحولات وأشباه الموصلات ، فإنها توصل بالدائرة المطبوعة ببساطة .

وكذلك مكن استخدام الأنواع الجديدة من البطاريات الجافة الصغيرة مع الدوائر المطبوعة وأشباه الموصلات والهوائيات الصغيرة المصنوعة من أشباه الموصلات المغناطيسية (الغرايت) من تصميم أجهزة راديو ذات مكبرات للصوت بحجم صندوق السجائر . ويحتوى هذا الراديو على بطارية جافة يمكنها تغذية الجهاز لمدة شهر فى الظروف المعتادة .

كما صممت بالفعل أجهزة تليفزيون يكون الصمام المفرغ الوحيد فيها هو صمام الصورة بينما تقوم أشباه الموصلات بجميع الوظائف الأخرى . ومثل هذا التليفزيون بالطبع أصغر حجما وأخف وزنا بكثير من الأجهزة المعتادة كما لا يقارن بها من الناحية الاقتصادية .

وقد استخدمت أشباه الموصلات فى آلة حاسبة الكترونية تجريبية كانت تحتوى على ١٢٥٠ صماما . وكانت النتيجة أن انخفض استهلاك القدرة من ٦٢ كيلو وات الى ٣١٠ وات (الانخفاض حوالى ٩٥ ٪) . كما صغرت ابعاد الآلة الى النصف ولم يعد من الضروري تبريدها اصطناعيا بينما زاد عولها وعمرها زيادة كبيرة .

وقد بدأ بنجاح استخدام اشباه الموصلات والدوائر المطبوعة في أجهزة الرادار وأجهزة الملاحة اللاسلكية وبخاصة تلك الموجودة في الطائرات والصواريخ .

ولا يتقيد استخدام اشباه الموصلات بالهندسة اللاسلكية ، فان خواصها الرائعة تفتح لها امكانيات جديدة في ميادين أخرى مختلفة تماما عن ميادين الهندسة .

فقد أمكن مثلا تصميم مجسات حساسة وصغيرة مصنوعة من اشباه الموصلات لقياس درجات الحرارة ، وذلك لأن موصلية اشباه الموصلات تتغير بتغير درجات الحرارة . وتسمى هذه المجسات الثرمستور . ويمكن أن يشعر الثرمستور بتغير في درجة الحرارة يصل ٢٠٠٥ م° . وتصنع هذه الأدوات شبه الموصلة على شكل شعيرة أو كرة صغيرة أو لوح . وتستخدم الهندسة اللاسلكية الثرمستور أساسا لقياس القدرة عند الترددات العالية جدا . فيوضع الثرمستور داخل دليل موجي يملء بالطاقة ذات التردد العالي جدا . وباستخدام أعضاء خاصة للموافقة يمكن التأكد من أن الثرمستور يمتص جميع الموجات الساقطة عليه بحيث يتناسب ارتفاع درجة حرارته مع قدرة الموجة ، وهكذا يمكن بقياس مقاومة الثرمستور معرفة درجة حرارته وبالتالي قدرة الموجات السلكية المسلطة عليه .

ويستخدم الثرمستور كثيرا في دوائر تحكم لاسلكية متعددة مثل دوائر التحكم الاوتوماتيكي في اتساع ذبذبات مولدات التيار المتردد التي تعمل بصمامات ، وفي دوائر التحكم الاوتوماتيكي في التكبير . . . الخ .

ولا يمكن الاستغناء عن الثرمستور كوسيلة لارسال الاشارات أو للمراقبة أو للتحكم في جميع العمليات التي يصاحبها تولد حرارة . ويمكن أن يوضع في الأماكن التي يصعب الوصول اليها ، فيرسل الاشارة بنفاذ الشمع في الأماكن المعرضة للاحتكاك في المكثات المعقدة أو بالتغير في الضغط المصاحب للتغير في درجات الحرارة ، أو بالتغير في الظروف الحرارية للعمليات التكنولوجية المختلفة . وكذلك يمكن استخدامه في البيوت الزجاجية لتربية النبات ، حيث يجب الاحتفاظ بدرجة حرارة الهواء ثابتة . أما في مخازن الفلال والخضروات فيستطيع الثرمستور أن يعطي التحذير في الوقت المناسب بأن المخزون قد بدأ يتعفن ، لأن التعفن يصاحبه ارتفاع في درجة الحرارة . وفي الفلك يستخدم الثرمستور في قياس درجات حرارة الكواكب ، وفي الدراسات الحيوية يوضع الثرمستور في ساق النبات أو إحدى أوراقه لدراسة التبادل الحراري الذي

يُصاحبه التفاعلات الكيميائية في النبات • ويستخدم الأطباء نوعا خاصا من الترمستور لقياس درجات حرارة المعدة وأعضاء أخرى بدقة • وفي المتيورولوجيا (دراسة طبقات الجو) يستخدم الترمستور في قياس رطوبة الهواء وسرعة الريح وطبيعته • ويستخدم الترمستور أيضا في الزراعة لتحديد درجة حرارة التربة ورطوبتها وفي ميكنة عدد من القياسات الأخرى •

وقد فتحت تلك الخواص الممتازة للمواد شبه الموصلية طريقا سهلا ورخيصا لتحويل الطاقة الحرارية الى طاقة كهربائية بغير حاجة الى مكثفات معقدة وغالية التكاليف • ولقد كان معروفا منذ القرن الماضي انه اذا سخنت وصلة من معدنين متفايرين سري تيار كهربائي فيها • وتلاحظ نفس الظاهرة في أشباه الموصلات ولكن بدرجة أكبر • فاذا وصلت مادة شبه موصلية بأخرى ذات طبيعة التوصيل للآخر ، فانهما عند التسخين يكونان ما يسمى بالعنصر الحراري • وكفاية هذا المصدر من مصادر التيار الكهربائي عالية ، اذ يمكن أن تصل الى ١١٪ • ومع ذلك فليست هذه هي النهاية بالنسبة للعناصر الحرارية شبه الموصلية ، اذ يمكن ترتيب مثل هذه العناصر في بطاريات يمكنها أن تغذي محطة لاسلكية صغيرة من الحرارة الصادرة من مصباح غازي أو قرن غازي أو حتى نار المسكر • وواضح ان مثل هذه المصادر للتيار الكهربائي المصنوعة من أشباه الموصلات لا يمكن الاستغناء عنها في المناطق النائية التي لم تصلها الكهرباء بعد وبخاصة المناطق الشمالية ، مثل التندرا والتايجا • أما في المناطق الجنوبية من الكرة الأرضية فتستخدم العناصر الحرارية لتحويل الطاقة الشمسية الى طاقة كهربائية ، وفي المناطق الأخرى من الأرض تستخدم هذه العناصر في استغلال حرارة الغازات المتخللة في صناعات التعدين وما أشبه •

ويمكن استخدام أشباه الموصلات في عمليات غير عادية مثل الحصول على البرودة من الحرارة والبرودة من البرودة • ولقد ذكرنا ثلثونا أنه عندما تسخن وصلة مكونة من مادتين من أشباه الموصلات يسري فيها تيار كهربائي • وقد قام الأكاديمي الروسي لنتز بتجربة العكس ، اذ مر تيارا كهربائيا في وصلة مكونة من البزموت والانتيمون واكتشف أنها تسخن بمرور التيار في اتجاه معين ، فاذا عكس اتجاهه فانها تبرد ، ويمكن بهذه الطريقة من تجميد نقطة من الماء وضعها على الوصلة ، وبهذا اكتشف العناصر أن الحرارية شبه الموصلية يمكنها توليد الحرارة وكذلك البرودة • وباستخدام هذه الخاصية من خواص أشباه الموصلات يمكن الحصول على أي نوع من المناخ على صورة مصغرة في الأحياء السكنية • ولا شك

فى ان نظام التدفئة المركزية المستعمل فى ايماننا هذه سيستبدل فى المستقبل ببطاريات من العناصر الحرارية تدفئ المنزل فى الشتاء وتبرده فى الصيف ، وقد تم بالفعل تصميم ثلاجة فريدة تعتمد فى تشغيلها على هذه الخاصية لأشباه الموصلات ، وتستهلك هذه الثلاجة طاقة أقل من الثلاجة ذات الكباس أو أى نوع آخر من الثلاجات الموجودة الآن .

وكذلك مكنت أشباه الموصلات من الحصول على نوع جديد من أنواع تحويل الطاقة ، ألا وهو تحويل الطاقة الذرية مباشرة الى طاقة كهربائية . وهناك بالفعل بطاريات من أشباه الموصلات تحول طاقة تحلل أحد النظائر الاصطناعية المشعة لمادة الاسترونشيوم الى طاقة كهربائية . ويمكن إستغلال مثل هذه البطاريات فى المحيطات المتيورولوجية البعيدة مثل تلك القائمة على قمم الجبال أو فى المناطق القطبية فتغذى المحطات بالطاقة الكهربائية بصفة مستمرة لعدة عشرات من السنين .

وبدراسة خواص أشباه الموصلات المعروفة حتى الآن ونتائج آخر الأبحاث ، يمكن التأكيد بأن أشباه الموصلات هى مواد المستقبل . فلأشباه الموصلات امكانيات غير محدودة مازلنا فى بداية الطريق الى تحقيقها ، وقد قامت مدرسة الفيزيائيات السوفيتية التى أسسها بطل العمل الاشتراكي الاكاديمي أ . ف . يوف بكثير من الأبحاث على أشباه الموصلات واستخداماتها فى الأعوام الخمس وعشرين الماضية . وتعطى نتائج الأعمال التى قام بها العلماء السوفيت أسبابا للاعتقاد بأن أشباه الموصلات ستساعد على النهوض بالهندسة اللاسلكية ، وهندسة القدرة الكهربائية والميكنة والقياسات وتقنيات الاضاءة الى أعلى درجة من التطوير .

الالكترونيات وغزو الفضاء

سيسجل تاريخ البشرية اليوم الرابع من أكتوبر عام ١٩٥٧ ك بداية عصر جديد ، عصر غزو الفضاء . وقد عبرت الأقمار الاصطناعية التي أطلقها الاتحاد السوفيتي عن ملخص التقدم التكنولوجي في الاتحاد السوفيتي في الأعوام الأربعين الأخيرة منذ قيام ثورة أكتوبر الكبرى . وكان هذا اختبارا لفرع الالكترونيات ، كما كان أيضا اختبارا لكثير من فروع العلم والهندسة الأخرى .

وتشارك المعدات اللاسلكية في إطلاق الصاروخ الذي يضع القمر الاصطناعي في مداره وفي القيام بالأبحاث المعقدة التي تتم بمساعدته . ويلقى اللعب الأكبر على عاتق الآلات الحاسبة الالكترونية في حساب مسار القمر الاصطناعي ، وحل عدد من المسائل المعقدة التي تدخل في تصميمه وإطلاقه .

ويتكون جزء لا بأس به من معدات القمر الاصطناعي نفسه من أنواع متعددة من المعدات الالكترونية ومنايع التغذية ، كما شارك كثير من المحطات اللاسلكية ومحطات الهواة في متابعة الاشارات اللاسلكية الصادرة من أجهزة الارسل الموجودة في هذه المعامل الطائرة ، كما استمرت محطات الرادار في مراقبة الأقمار التي أطلق عليها اسم سبوتنيك الى ما بعد استهلاك منابع تغذيتها .

إن إطلاق قمر صناعي عملية معقدة لا يمكن للإنسان أن يتحكم فيها بطريقة مباشرة ، إذ أن الدقة المطلوبة للقيام بالعمليات المعقدة اللازمة للتحكم في تلك الصواريخ القوية الواحدة بعد الأخرى عالية جدا ، وأنه خطأ لا يعنى الا الفشل ، وكذلك يجب أن تدخل في الحساب تيارات الهواء التي قد تحرف مسار الصاروخ وبخاصة في المرحلة الأولى من

الانطلاق في الطبقات الكثيفة من الجو حيث تكون السرعة منخفضة نسبيا .
لذلك صمم المهندسون معدات اتوماتيكية تعمل على مواجهة أى موقف غير
متوقع علاوة على تلك الخاصة باطلاق الصاروخ .

وبعد اتمام كافة التحضيرات واختبار كافة الأجهزة وتركيبها في
رأس الصاروخ وملء خزانات الوقود ، يتراجع العلماء والمهندسون وطاقم
الاطلاق الى المخبأ .

وهنا يبدأ عهد الآليات ، ففي اللحظة المحددة للاطلاق تدار محركات
الصاروخ ، وفي الحال تبدأ آلات التصوير السينمائي في العمل ، ويبدأ
الصاروخ في الارتفاع الى اجواز الفضاء ببطء وعظمة أولا ، ثم بسرعة
متزايدة . وبانتهاء مهمة المرحلة الأولى من الصاروخ تنفصل هذه المرحلة
أليا عن باقى الصاروخ ويشتمل محرك المرحلة الثانية أليا .

وبانتهاء الجزء الرأسي من مسار الصاروخ بدقة تامة ، تعمل آلات
اتوماتيكية على ادخال الصاروخ في منحني لطيف الى مساره المحدد من
قبل . وعندما ينتهى احتراق وقود المرحلة النهائية من الصاروخ بأكمله ،
يكون القمر الاصطناعي قد وصل الى مداره وأصبح جسما كونيا خاضعا
لقوانين الجاذبية الكونية .

ولم يكن القمر الاصطناعي الأول معبلا كونيا بالمعنى الكامل ، اذ لم
يكن مجهزا بالمعدات اللازمة لاكتشاف الفضاء مباشرة ، ومع ذلك فقد تم
تنفيذ برنامج واسع من الدراسات العلمية باستخلامه وكان أهمها دراسة
انتشار الموجات اللاسلكية ودراسة مدار القمر الاصطناعي ، الأمر الذي
أدى الى الحصول على بيانات قيمة عن تركيب الأرض وكثافة الطبقات العليا
من الجو .

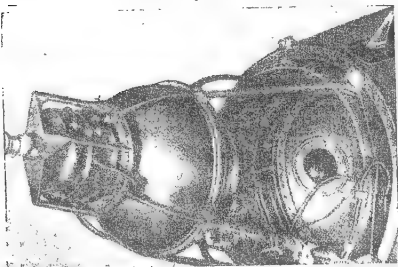
وقد زود سبوتنيك - ١ بجهازى ارسال يعمل أحدهما بتردد قدره
٢٠.٠٠٥ ميغاسيكل والآخر بتردد قدره ٤٠.٠٠٢ ميغاسيكل (أى
بموجتين طولهما ١٥ ، ٧٥ مترا على الترتيب) . وكانت الاشارات
المرسلة منهما على شكل نقط حسب اشارات مورش تستغرق الواحدة
٣ ثانية ويتبعها سكون لنفس الزمن ، وكان الجهازان يعملان على التناوب
فيرسل أحدهما في فترات سكون الآخر . وكانت قدرتهما كافية لضمان
استقبال اشارتهما استقبالا يعتمد عليه الى مسافات بعيدة . ولقد حدث
فى عدة مناسبات أن سمعت هذه الاشارات الى مسافة ١٠٠٠ كيلومترا .

وحتى تلك الساعة ، لم يكن من الممكن القيام بأبحاث عن الايونوسفير
بدقة كافية ، فان الدراسات النظامية التي تتم فى محطات دراسة

الاينوسفير الأرضية لا يمكنها أن تعطي الا معلومات « من جانب واحد » ،
 إذ لا تستطيع هذه المحطات أن تعطي بيانات آلا عن تلك المناطق من
 الاينوسفير التي تقع تحت طبقة ٢ ، وهي منطقة أعلى تاين . أما القمر
 الاصطناعي فيخترق الطبقات العليا من الاينوسفير مرتين في كل دورة
 ومن هنا أمكن الحصول على بيانات قيمة عن الاينوسفير بأكمله عن طريق
 مراقبة اشارات جهازى الارسال بالقمر الاصطناعي بانتظام ، وكانت من
 النتائج البالغة الأهمية لهذه الدراسة ان الاشارة التي طول موجتها
 ١٥ مترا تأثرت بالاينوسفير أكثر بكثير من الاشارة التي طول موجتها
 ٧٥ مترا . وقد أدت هذه المقارنة لقوتى الاشارتين الى معلومات قيمة
 عن الظروف الفيزيائية فى الطبقات العليا للاينوسفير وعن تأثير
 الاينوسفير على الاتصالات اللاسلكية .

وقد سجلت المحطات العلمية ، وكذلك سجل كثير من هواة
 اللاسلكي ، اشارات سبوتنيك مع اشارات ضبط الوقت الدقيقة على
 اشربة مقناطيسية ، وقد أدت هذه التسجيلات الى بيانات هامة عن
 الاينوسفير كما مكنت من حساب مدار القمر الاصطناعي ومدة دورته
 حول الأرض ما كان أساسا لأبحاث جيوفيزيائية أخرى .

ولم تختلف المعدات اللاسلكية فى القمر الاصطناعي سبوتنيك - ٢
 عن تلك التي كانت فى سبوتنيك - ١ ، ولكن المعدات العلمية التي
 بلغ وزنها ٥٠٨٣ كيلو جراما . حولت هذا القمر الى محطة علمية كروية
 اوتوماتيكية ذات ثلاثة « معامل » (شكل ٤٣) .



(شكل ٤٣) : نوع المعدات العلمية فى القمر الصناعى السوفيتى الثانى

وقد احتوى المعمل البصرى على ثلاثة مضاعفات ضوئية خاصة بين كل منها وزميه ١٢٠ لقياس الاشعة السينية والاشعاع فوق البنفسجى .

ومن المعروف أن جو الأرض يمتص الاشعة السينية الصادرة من الشمس تماما وكذلك الغالبية العظمى من اشعاع الشمس فوق البنفسجى ، ولا تصل الى الأرض الا نسبة ضئيلة منه وهى ذات الموجات الأطول التى تقترب من موجات الضوء المرئى . ولهذا لا يصل الى سطح الأرض ذلك الجزء من الطيف الشمسى الذى يحتوى على أعلى طاقة ، وهذا يقى الحياة على الأرض من التأثير المميت للاشعاع القصير الموجة الصادر من الشمس ، كما انه أيضا يمنع دراسته من على سطح الأرض ، وقد كانت أولى الدراسات التى تمت على الاشعة فوق البنفسجية ذات الموجة القصيرة والاشعة السينية الصادرة من الشمس هى تلك التى تمت باستخدام الصواريخ التى تصل الى ارتفاعات شاهقة ، ومع ذلك فإن تلك الأرصاد التى تتميز بقصر مدتها لا تسمح بالقيام بدراسة منظمه يمكنها أن تربط بين التغير فى شدة هذه الاشعاعات والعمليات المختلفة التى فى الشمس .

أما الأقبار الاصطناعية فانها تسمح بالقيام بعدد من الأرصاد القيمة نظرا لتغير ارتفاعها بانتظام بحيث يمكن إيجاد العلاقة بين الاشعاع قصير الموجة والعمليات التى تحدث على سطح الشمس . ونظرا لأن القمر الاصطناعى يكون فى ظل الأرض لفترة معينة خلال كل دورة من دوراته ، فقد صممت المضاعفات الضوئية والأجهزة المصاحبة لها بحيث تعمل بأشعة الشمس ، ويتم تشغيلها بوساطة مقاومات ضوئية ، وقد وضعت المقاومات الضوئية الثلاث بحيث تضاء كل منها بأشعة الشمس عندما تسقط هذه الاشعة على المضاعف الضوئى المناظر لها فقط ، وحينئذ تقفل المقاومة الضوئية دائرتى المضاعف الضوئى والجهاز الاوتوماتيكى ، ونتيجة لهذا يغطى المضاعف الضوئى المعرض لأشعة الشمس أتوماتيكيا بعدة مرشحات الواحد بعد الآخر بعضها من المعدن الرقيق وبعضها من أغشية من مواد عضوية وبعضها من مواد بصرية خاصة . وتسمح هذه المرشحات بفصل النطاقات المختلفة من طيف الشمس ذى الموجة القصيرة . وتكبر الاشارات الناتجة عن المضاعف الضوئى وترسل الى الأرض عن طريق جهاز للقياس عن بعد .

وستؤدى المقارنة بين هذه البيانات والأرصاد التى قامت بها المحطات الأرضية طبقا لبرنامج السسنة الجيوفيزيائية الدولية الى معلومات قيمة

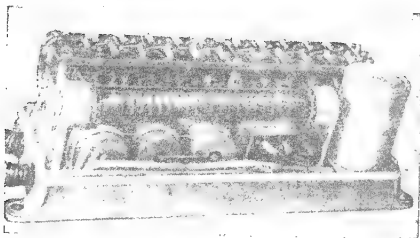
ستساعد على التقدم بمجالى التنبؤ وحسابات الاتصالات اللاسلكية .
وسيمكن العلماء من التحقق من صحة الفرض القائل أن الطبقة السفلى
من الايونوسفير (الطبقة هـ) والتي على ارتفاع ٧٠ - ٩٠ كيلو مترا
تتكون نتيجة لتأثير خطوط الايدروجين الطيفية التى يشعها كروموسفير
الشمس ، وان الطبقة د التى توجد على ارتفاع ٩٠ - ١٠٠ كيلومترا تتكون
نتيجة للأشعة السينية المنبعثة من الهالة الشمسية ٠٠٠ الخ .

وهناك أيضا أجهزة خاصة فى المعمل الكونى وهى عدادات الدقائق
المشحونة مهمتها دراسة الأشعة الكونية فى الفراغ الخارجى مباشرة .
وهذا أمر على جانب كبير من الأهمية لأن الأشعة الكونية تجتاز مراحل
معقدة من التغيرات أثناء اختراق جو الأرض مما يؤدى الى تغيرات كبيرة
تعتمد على الارتفاع . اذ تتفاعل الدقائق الكونية « الأولية » القادمة من
مناطق نائية من الفضاء أم من الشمس مع نوى الذرات التى تؤلف جو
الأرض مولدة بذلك عددا من الدقائق الجديدة ومستهلكة فى نفس الوقت
الجانب الأكبر من طاقتها . ومن هنا كانت أهمية دراسة الاشعاعات
الكونية فى الفضاء الخارجى .

وجدى بالذكر أن المجال المغناطيسى للأرض يحيطها بحاجز غير
مرئى ، ويقبها حاجز الطاقة هنا أيضا من الدقائق الكونية . وبسببه
لا تستطيع الدقائق الكونية ذات الطاقة المنخفضة أن تصل الا الى المناطق
القطبية ، أى الدائرة القطبية الشمالية والدائرة القطبية الجنوبية ، أما
المناطق الاستوائية فلا تصل اليها الا الدقائق التى تزيد طاقتها على
١٤٠٠٠ مليون إلكترون فولت (أى أعلى ٤٠٪ عما يستطيع أن يولده
أقوى مسارع سينكروفازوترونى فى العالم وهو ذلك الموجود فى
دوبنا) .

وتولد عدادات الدقائق المشحونة التى وضعت فى الأقمار طراز
سبوتنيك نبضة كهربائية كلما مرت خلالها إحدى الدقائق الكونية ،
وتحصى دوائر ترازستورية خاصة عدد النبضات وترسل إشارة كلما
وصل العدد الى رقم معين (شكل ٤٤) .

وبعد أن يرسل الجهاز هذه الإشارة يبدأ فى العلم من جديد .
وبقسمة عدد الدقائق التى عدّها الجهاز على الزمن الذى استغرقه فى
عدّها ، يمكن معرفة متوسط عدد الدقائق التى مرت خلاله فى
الثانية .



(شكل ٤٤) : معدات دراسة الأشعة الكونية بالقمر الاصطناعي السوفيتي الثاني

وقد أظهرت القياسات علاقة واضحة بين عدد الساعات الكونية وخط العرض الجغرافي . وستؤدي المقارنة بين هذه النتائج والقياسات الجيوفيزيائية الأخرى وكذلك نتائج دراسات الشمس الى بيانات أخرى قيمة .

وقد مكن المعمل الحيوى بالقمر سبوتنيك - ٢ من الحصول على بيانات عن الوظائف المختلفة لكائن حي يعيش فى ظروف الفضاء لأول مرة فى تاريخ البشرية . ومن الأمور الهامة فى هذا المجال ، ان الحل المفيد الكبير لهذا القمر الاصطناعي مكن من استخدام حيوان تدينى على درجة كبيرة من التطور مثل الكلب فى هذه التجربة . وقد تم تدريب الكلبة لايبكا التى استخدمت فى هذه التجربة تدريجيا لتعتاد على المكوث لمدة طويلة فى كابينة صغيرة الحجم محكمة الاغلاق، وكذلك لتعتاد على التسارع والاهتزاز والملابس الخاصة واللاقطات المختلفة اللازمة للدراسة وظائفها الفسيولوجية .

وقد أمدت معدات القياس الاوتوماتيكية وأجهزة الارسال العلماء على الأرض ببيانات عن معدل نبض القلب وعن التنفس وضغط الدم والجهد البيولوجى للقلب ودرجة الحرارة المحيطة وضغط الهواء . . . الخ .

وكان التحكم فى تركيب الغاز داخل القمرة ، وكذلك رطوبته يتم اوتوماتيكيا . وكذلك تغذية الكلبة ودورة الهواء الذى تعيش فيه . لأن تيارات الحمل الطبيعية للهواء تتوقف فى حالة انعدام الوزن .

وقد أظهرت البيانات التي تم الحصول عليها ، ان الكلبة تحملت جيدا تعرضها الطويل لتأثير التسارع أثناء الارتفاع الى طبقات الجو العليا ، ثم التعرض لانعدام الوزن بعد ذلك عندما وصل القمر الى مداره .

ثم كانت هناك امكانيات اوسع للبحث العلمي مرة ثالثة ، وذلك عند اطلاق القمر السوفيتي الثالث . ففي ١٥ مايو سنة ١٩٥٨ ، وضع القمر سبوتنيك - ٣ الذي كان يزن ١٣٢٧ كجم في مداره . وقد كان شكله مخروطيا تقريبا ارتفاعه ٣ر٥٧ مترا ، وقطره ١ر٧٣ مترا (بدون الهوائيات البارزة) . وكان وزن الحبل المقيده الذي يتضمن المعدات العلمية ومصادر التغذية ٩٦٨ كجم .

وقد مكنت المعدات اللاسلكية التي وضعت في هذا القمر من القيام بقياس التغير في مداره بطريقة أدق ، وتولى جهاز التحكم ، الذي قام بمهمة التحكم في جميع المعدات العلمية وإستزنان البيانات التي يتم الحصول عليها وإرسالها الى الأرض أثناء مرور القمر على محطات خاصة داخل الاتحاد السوفيتي ، إستقبال البيانات التي تم تجميعها ، وكان هذا كله يتم طبقا لبرنامج محدد يتولى هذا الجهاز تنفيذه . وقد استخدمت جميع المعدات العلمية ومعدات القياس والمعدات اللاسلكية في سبوتنيك - ٣ الترانزستور على نطاق واسع حتى أن عددها بلغ عدة آلاف . وكانت تغذية هذه المعدات جميعها عن طريق مركبات خاصة من الفضة والخارصين وخلايا أكسيد الزئبق وبطاريات شمسية مصنوعة من أشباه الموصلات . وقد وضعت البطاريات الشمسية المصنوعة من السيليكون (والتي بلغت كفاءتها ٩ - ١١ ٪) بحيث يضاء دائما بإشعة الشمس .

وقد كان مدار القمر الاصطناعي السوفيتي الثالث على شكل قطع ناقص يبلغ ارتفاع الأوج فيه عن الأرض ١٨٨٠ كم . وقد حسنت وسائل المتابعة حركته وتقنياتها تحسينا كبيرا . وكانت البيانات التي تحصل عليها المحطات اللاسلكية ترسل لاسلكيا أيضا الى مركز لتنسيق الحسابات . حيث كانت تقدم أتوماتيكيا الى آلة حاسبة الكترونية ذات سرعة عالية كانت تقوم بحساب معاملات مدار سبوتنيك - ٣ .

وكما كان الحال في القمرين السابقين ، اشتركت محطات جماعية وفردية للهواة في رصد مداره . وللأرصاد النورية التي يقوم بها هواة اللاسلكي وبخاصة اذا كانت مسجلة على شريط مغناطيسي قيمة كبيرة عند العلماء .

وبالإضافة الى الحصول على بيانات جديدة عن الايونوسفير بنفس الطرق التى اتبعت فى القمرين الأول والثانى مكنا سبوتنيك - ٣ من الحصول على قياسات مباشرة لخواص الايونوسفير مثل تركيز الالكترونات والايونات ، وطيف كتل الايونات الموجبة . ولهذا زود القمر بأجهزة خاصة منها جهاز تحليل طيفى كئلى يعمل بالتردد العالى .

كما حمل سبوتنيك الثالث أجهزة لقياس المجالات الكهربائية والمغناطيسية للأرض مما أدى الى الحصول على بيانات جيوفيزيائية هامة .

وقد تمكن العلماء السوفيت لأول مرة فى تاريخ العلم من القيام بتجارب الكشف عن فوتونات أشعة جاما فى الأشعة الكونية الأولية . وبالإضافة الى هذا خرجتعدادات شرينكوف الى الفضاء الخارجى لأول مرة أيضا . وتستطيع هذه العدادات أن ترسل قياسات الى الأرض لمدد طويلة ، كما تمكن من معرفة قيمة شحنة الدقائق التى تصطدم بها ، وبهذا تمدنا ببيانات أخرى عن تركيب الأشعة الكونية الأولية ، كما قام سبوتنيك الثالث بدراسات عن الاشعاع الجسمى للشمس أكملت بقياسات للأشعة السينية .

وحتى ذلك الحين ، لم تكن القياسات التى تتم باستخدام الصواريخ عالية الارتفاع تعطى بيانات منظمة عن الضغط والكثافة فى طبقات الجو العليا ، وقد تمكن القمر الاصطناعى السوفيتى الثالث من الحصول على هذه البيانات ، كما زود أيضا بأجهزة لتسجيل الصدمات الناتجة عن الشهب الدقيقة بالإضافة الى عددها .

ويعتبر القمر الاصطناعى السوفيتى الثالث - وحجمه فى حجم سيارة - نصرا للعلم السوفيتى وإثباتا آخر لميزات النظام الاشتراكى السوفيتى .

ويحتوى برنامج السنة الجيوفيزيائية الدولية على أبحاث مختلفة تتطلب استخدام المعامل الكونية ، لهذا لا شك فى أن الأقمار الاصطناعية ستزود فى المستقبل بأجهزة تتزايد مع الزمن تعقيدا وعمرا .

وستواجه أجهزة القياس فى المستقبل مطالب أقسى ، وكذلك أيضا أجهزة تخزين المعلومات ، وأجهزة الاعتماد الأولى للقياسات ، وأجهزة الارسل للأرض .

وليس بعيدا ذلك اليوم الذي ستساعده فيه الأقمار الاصطناعية التي تدور بصفة دائمة حول الأرض على ارتفاعات هائلة على الحصول على
سعال تليفزيوني يغطي الأرض كلها (انظر الفصل الثالث) .

وعندما تنطلق أول سفينة فضاء لتدور حول القمر (١) ، ستنظر
جهاز التصوير التليفزيون الى الجانب الآخر القامض من القمر الذي لم
ره انسان حتى الآن . وسيطلب هذا بالطبع أجهزة تستطيع أن «تذكر»
لصور الى أن يصبح القمر الاصطناعي على مرمى البصر من الأرض .

وحتى الرابع من أكتوبر سنة ١٩٥٧ ، كانت فكرة ارسال سفينة
ضاء حول القمر مجرد خرافة علمية ، ولكن العلماء والمهندسين والعمال
للسوفيت تمكنوا من تحويله الى حقيقة ملموسة . ففي ٢ يناير سنة
١٩٥٩ ، أطلق الشعب السوفيتي أول صاروخ فضائي ليصل قرب القمر
وهو يحمل علما عليه شارة الاتحاد السوفيتي وجملة « اتحاد الجمهوريات
الاشتراكية السوفيتية - يناير ١٩٥٩ » .

وطبقا للبرنامج الموضوع ، نجح الصاروخ المتعدد المراحل في اكتساب
السرعة الكونية الثانية وقدرها ١١٢ كيلو مترا في الثانية ودخل في
مساره الذي كان محصدا له .

وكان وزن المرحلة الأخيرة من سفينة الفضاء ١٤٧٢ كيلو جراما
(باستثناء الوقود) . وكان الوزن الكلي للمعدات العلمية ومعدات القياس
ومصادر الطاقة والوعاء الحاوي لهذه المعدات ٣٦١٣ كيلو جراما . وغنى
عن الذكر أن دفع الصاروخ كان هائلا وأنه كان مزدحما بعدد كبير من
الأجهزة الحديثة وكذلك بثلاث محطات ارسال لاسلكية .

فماذا كانت المشاكل التي على هذه المعدات أن تحلها ؟

منذ أحيال يعرف الناس ان للأرض مجالاً مغناطيسياً ، وكذلك
تمكن الفيزيائيون الفلكيون من الكشف عن المجال المغناطيسي للشمس
وبعض النجوم بالملاحظات البصرية ، ولكن طبيعة المجالات المغناطيسية
للأجسام السماوية ليست واضحة حتى الآن .

ففي البداية افترض ان مجال الأرض المغناطيسي نتيجة للخامات
المشغطة الموجودة فيها لا غير ، ثم اكتشف ان جزءا كبيرا من هذا المجال

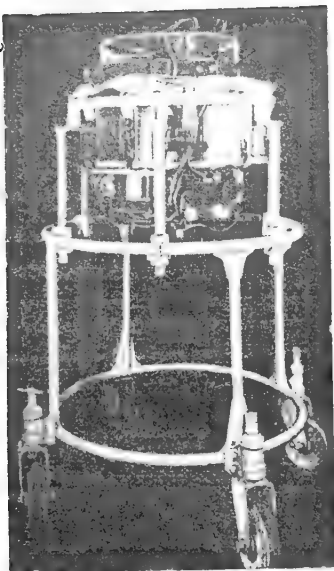
(١) يذكر القراء ان هذا قد تم فعلا منذ عدة سنين - المترجم

تصاحبه تيارات كهربائية في المحيطات ، وتيارات من الدقائق المشحونة في الطبقات العليا من جو الأرض . وقد ساعدت الأقمار الاصطناعية السوفيتية على اكتشاف ان كثافة الاشعاع الكوني تزيد الى حد كبير عند ارتفاع حوالى ٥٠٠ كيلو مترا عن سطح الأرض ، وتصل الى نهايتها المظلمة عند ارتفاع يصل الى عدة آلاف من الكيلو مترا ، ثم تبدأ بعدها فى التناقص . ويحتجز المجال المغناطيسى للأرض هذه الدقائق الكونية كما تؤثر هي بدورها عليه .

أما القمر فليست به محيطات ، وليس له غلاف جوى ، ولهذا لا تكون مشكلة مجاله المغناطيسى معقدة بسبب التيارات الكهربائية في المحيطات والغلاف الجوى ، فلما سمته اذن تقرينا الى حل لفز المجالات المغناطيسية للأجسام السماوية ، وليست هناك طريقة فيزيائية فلكية يمكن بواسطتها الكشف عن هذا المجال ، فضلا عن قياسه . ولهذا فقد كان الواجب الرئيسى أمام الصاروخ الكوني هو حمل أجهزة قريبا من القمر يمكنها ارسال المعلومات عن مجاله المغناطيسى الى الأرض .

كذلك تمكن الباحثون الذين يدرسون الأشعة الكونية من « الإمساك » بها فى الآبار العميقة وفي البحار ، على سطح الأرض وعلى قمم الجبال ، كما حملت البالونات أجهزة قياس الأشعة الكونية وكذلك صواريخ الارتفاعات العالية والأقمار الاصطناعية . ولكن ليست هناك معلومات عن طبيعة الأشعة الكونية خارج المجال المغناطيسى للأرض . وبالطبع حمل الصاروخ الذى غادر الأرض ووصل الى منطقة فى الفضاء لا يكاد يكون للمجال المغناطيسى للأرض فيها أى وجود عملى ، أجهزة لقياس شدة الأشعة الكونية والتغير فيها ، وكذلك أجهزة الكشف عن وجود الفوتون فى الاشعاع الكوني .

وتعتبر المعلومات الخاصة بتوزيع النوى الثقيلة فى الاشعاع الكوني ذات أهمية كبرى فى حل مشاكل نشأة الكون ، ولا تسمح الأبحاث التى تتم على الأرض ، أو حتى تلك التى تتم بالاستعانة بالأقمار الاصطناعية بمعرفة هذا التوزيع بأى درجة من الدقة ، وذلك نتيجة لفعل المجال المغناطيسى للأرض . وقد حمل هذا الصاروخ الأجهزة الى ما بعد حدود هذا المجال ، وبهذا ساعد على حل مشاكل تركيب الاشعاع الكوني فى الفراغ بين الكواكب .



(شكل ٤٥) : إطار الأجهزة الخاص بالوعاء الموجود بالمصانيع ويتضمن مصادر الطاقة
(موضوع على عربة) .

ومن الأبحاث ذات القيمة العظيمة تلك الخاصة بدراسة النياز الكوني
الموجود بين الكواكب والاشعاع الجسيمي للشمس غير المشع نتيجة
للمجال المغناطيسي للأرض ، اذ يمكن بهذا معرفة التركيب الأول لهذا
الاشعاع الذي يسبب الشفق القطبي والعواصف المغناطيسية على
الأرض .

وعندما مر الصاروخ قريبا من القمر ، قامت الأجهزة التي يحملها بقياس نشاطه الاشعاعي .

وكذلك قام الصاروخ بدوره في الدراسات الخاصة بالدقائق الشهرية التي بدأتها الأقمار الاصطناعية . ويمكننا الآن ان نكون فكرة اصح عن احتمال اتلاف الشهب لسفن الفضاء التي سيتحرك بها الانسان الأرض ويذهب لدراسة القمر دراسة تفصيلية . ويمكن هذا المهندسين من تصميم وسائل الوقاية الملائمة .

وقد قامت الأجهزة المركبة في الصاروخ بقياس درجة الحرارة داخل الوعاء وعلى سطح الصاروخ ، وقد سجلت درجات الحرارة الآتية على سطح الصاروخ :

٣ يناير : ١٥ - ٢٠ درجة مئوية فوق الصفر

٤ يناير : ١٠ - ١٥ درجة مئوية فوق الصفر

كما كانت درجة الحرارة داخل الوعاء تتراوح بين ١٠ الى ٢٠ درجة مئوية فوق الصفر . وقد كان ضبط درجة حرارة الصاروخ في هذه الحدود يتم عن طريق الموازنة بين الحرارة المنبعثة من الأجهزة التي تعمل بداخله والحرارة التي يكتسبها من أشعة الشمس من جهة ، وتلك التي يفقدها خلال غلافه من جهة أخرى . وستستخدم النتائج التي تم الحصول عليها في تصميم سفن الفضاء القادمة .

وقد حمل أول صاروخ فضائي معدات خاصة أطلقت سحابة من الصوديوم في تمام الساعة ٥٧ : ٣ يوم ٣ يناير وذلك طبقا للبرنامج الموضوع ، ولعدة دقائق جعل الاشعاع الشمسي أبخرة الصوديوم هذه تشع ضوءا خافتا يشبه الى حد ما وهج ذيل المذنب . وقد صور الراصدون في مرصد ألما آتا هذا « المذنب الاصطناعي » الذي يعتبر الأول من نوعه ، كما سجله كثير من الفلكيين في عدة بلاد . وسييساعه تحليل هذه المشاهدات على تصحيح معلوماتنا عن طبيعة الشهب .

وقد أرسلت جميع البيانات التي حصلت عليها أجهزة الصاروخ الى الأرض باللاسلكي ، وقد زود الصاروخ لهذا الغرض - وكذلك للمساعدة على تتبعه - بثلاثة أجهزة للارسال ، كان أحدها يرسل اشارات تفرافية طولها ٠.٨ ، ١.٦ من الثانية على التردددين ١٩٩٩٧ و ١٩٩٩٥ ميجاسيكل/ثانية . وكان الآخر مخصصا لارسال نتائج الدراسات العلمية ويرسل اشارات تفرافية طولها متغير بين ٠.٥ الى ٠.٩ من الثانية على تردد قدره ١٩٩٩٣ ميجاسيكل . أما جهاز الارسال الثالث فكان يحمل

على تردد قدره ١٨٣٢٦ ميغاسيكل وكان يستخدم فى ارسال المعلومات العلمية وفى اعطاء البيانات لقياس مسار الصاروخ .

ولم تقم الأجهزة اللاسلكية بحساب ومراقبة برنامج رحلة سفينة الفضاء الأولى هذه وضمان نجاح اطلاقها فحسب ، بل أعطت أيضا بيانات فى غاية الدقة عن طيران الصاروخ . وكانت البيانات ترسل أوتوماتيكيا الى الآلات الحاسبة الالكترونية التى كانت تحدد بسرعة ودقة عناصر مسار الصاروخ وتنبأ بمساره فى المستقبل .

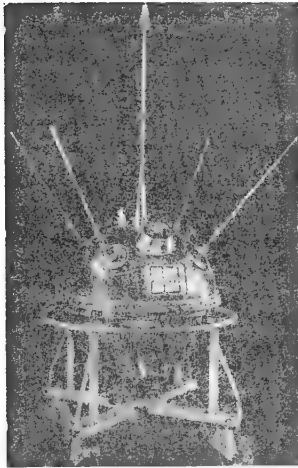
وقد بينت الأجهزة اللاسلكية انه بعد أن اندفع الصاروخ الى القمر بسرعة ابتدائية قدرها ١١٢ كيلو مترا فى الثانية ، استمر فى مساره الذى كان محددا له من قبل ، وتناقصت سرعته تدريجيا بفعل جذب الأرض . وفى الساعة ٥٩ : ٥ من يوم ٤ يناير ، مر الصاروخ بجوار القمر على بعد ٧٥٠٠ كيلو مترا من سطحه . وفى نفس الوقت كان الصاروخ على مسافة ٣٧٠٠٠ كيلو مترا من مركز الأرض بينما كانت سرعته نصف القطرية ٢٤٥ كيلو مترا فى الثانية ، وقد قطع الصاروخ هذه المسافة فى ٣٤ ساعة .

وقد استمر الاتصال اللاسلكى بالصاروخ لمدة ٦٢ ساعة وصل بعدها الى مسافة ٥٩٧٠٠٠ كيلو مترا . ولم تفقد المحطات اللاسلكية فى الاتحاد السوفيتى الاتصال بالصاروخ الا عندما اختفى وراء الأفق نتيجة لدوران الأرض . وفى نفس الوقت ابتعد الصاروخ عن القمر واندفع فى مدار كوكبى حول الشمس كأحد نوابعها .

وسيدور هذا الكوكب الاصطناعى فى مدار دائرى تقريبا دورته ١٥ شهرا ، وبعد حوالى خمس سنوات سيعود الى الاقتراب من الأرض الى مسافة ١٠ مليون كيلو مترا تقريبا .

وقريبا يكسب العالم مكاسب كثيرة من تحليل نتائج الدراسات التى قام بها الشعب السوفيتى بالقرب من القمر ، وحتى الآن لم تصل هناك بالطبع الا الأجهزة فقط .

وبعد تجارب الطيران الأولى هذه ، لا شك فى أن سفن الفضاء السوفيتية ستصل الى المريخ والزهرة ، اذ ليس هناك ما يمنع الانسان من الوصول الى الأجرام السماوية ومن الإقامة فيها أيضا .



(شكل ٤٦) : الوعاء الذى يحتوى عل المعدات العلمية ومعدات القياس بالمساروخ
(مركب على عربة) .

ويعتبر التحكم عن بعد باللاسلكى والميكنة والاتصالات اللاسلكية
من الضرورات المطلقة فى الرحلات الفضائية فى المستقبل ، وان العلم
السوفيتى والهندسة لمزودان بكل ما يلزم لحل أعقد المشاكل التى تواجه
الانسان وأكثرها ارضاقا .

وبهذا نكون قد تكلمنا عن الانجازات الرئيسية التى قامت بها
هندسة اللاسلكى وحالتها الحاضرة .

وقد كان الاتحاد السوفيتى مسقط رأس اللاسلكى ، كما ان الشعب
السوفيتى فخور بمواطنيه الكثير مؤسس الراديو ا . م . ب . ب . ب .

ونتيجة لعمل الكثيرين من العلماء والمهندسين السوفيت ، تحتل بلادهم المركز القيادي في تطوير هندسة اللاسلكي النظرية والفيزياء اللاسلكية ، وكذلك في الاذاعة والاتصالات اللاسلكيين . كما شق العلماء السوفيت طرقا جديدة في ميادين الرادار والملاحة اللاسلكية ، وفي استخدام اللاسلكي في الصناعة ، وفي مجالات أخرى . ولا ينقصهم شيء ليتقدموا الى الامام لضمان مستوى عال من التطور للهندسة اللاسلكية والالكترونيات في الاتحاد السوفيتي . وهناك الكثير من الاكتشافات في هذه المجالات مازالت في الطريق .

تم الكتاب بحمد الله

فهرس

الموضوع	رقم الصفحة
- الفصل الأول	
مقدمة	٥
- الفصل الثاني	
التليفزيون	٣٩
- الفصل الثالث	
الرادار	٦٧
- الفصل الرابع	
الفلك السيسى	١١٣
- الفصل الخامس	
التحليل الطيفى اللاسلكى	١٣١
- الفصل السادس	
الآلات الحاسبة الالكترونية	١٥١
- الفصل السابع	
الالكترونيات والصناعة والاقتصاد القومى	١٩٥
- الفصل الثامن	
أشباه الموصلات	٢١١
- الفصل التاسع	
الالكترونيات وغزو الفضاء	٢٥٥

مطابع الهيئة المصرية العامة للكتاب

رقم الايداع بدار الكتب ١٧١٩/١٩٨٦
ISBN ٩٧٧ - ٠١ - ٠٨٦٨ - ٥

